

**Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und  
Kieferheilkunde**

Geschäftsführende Direktorin: Prof. Dr. Heike Korbmacher-Steiner

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH

Standort Marburg

---

**Reproduzierbarkeit und Validität des ICDAS zur  
Diagnose der okklusalen Karies -  
ein Vergleich zwischen der Untersuchung extrahierter  
Zähne und digitalen Abbildungen**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin

der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt

von

**Carolin Alexandra Behrens**

aus Wolfenbüttel

Marburg, 2021

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg  
am: 15.04.2021

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekanin:	Frau Prof. Dr. D. Hilfiker-Kleiner
Referent:	Frau Prof. Dr. A. Jablonski-Momeni
1. Korreferent:	Herr Prof. Dr. T. Auschill

Meinen lieben Eltern und meinem Freund Christian gewidmet.

## Inhaltsverzeichnis

1	Weitere Verzeichnisse .....	6
1.1	Tabellenverzeichnis .....	6
1.2	Abbildungsverzeichnis .....	10
1.3	Abkürzungsverzeichnis .....	12
2	Einleitung .....	13
3	Literaturübersicht .....	15
3.1	Ätiologie der Karies .....	15
3.2	Fissurenkaries .....	16
3.3	Kariesdiagnoseverfahren .....	17
3.3.1	Visuelle und visuell-taktile Kariesdiagnostik .....	17
3.3.2	Nyvad-Kriterien zur Kariesdiagnostik .....	18
3.3.3	International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) .....	19
3.3.4	Kariesaktivität .....	22
3.3.5	Kariesdiagnostik an digitalen Abbildungen .....	22
4	Zielsetzung .....	25
5	Material & Methode .....	26
5.1	Versuchsdesign .....	26
5.2	Material .....	27
5.2.1	Auswahl und Vorbereitung der Zähne .....	27
5.2.2	Digitalfotografische Erfassung .....	27
5.2.3	Auswahl der Messpunkte .....	27
5.3	Methode .....	28
5.3.1	Untersucher .....	28
5.3.2	Visuelle Befundung .....	29
5.3.3	Herstellung der Zahnhartschnitte .....	32
5.3.4	Histologische Beurteilung .....	32
5.4	Statistische Auswertung .....	33
6	Ergebnisse .....	37
6.1	Verteilung der Diagnosen für die Untersuchung an extrahierten Zähnen .....	37
6.2	Verteilung der Diagnosen für die Untersuchung an digitalen Abbildungen .....	38
6.3	Reproduzierbarkeit der ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen .....	39
6.3.1	Intrarater-Reliabilität .....	39
6.3.2	Interrater-Reliabilität .....	40
6.4	Reproduzierbarkeit der ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen .....	41

6.4.1	Intrarater-Reliabilität .....	41
6.4.2	Interrater-Reliabilität .....	42
6.5	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman <i>rs</i> .....	43
6.6	Kreuztabellen.....	44
6.7	Spezifität und Sensitivität, ROC-Kurven.....	50
6.7.1	Sensitivität und Spezifität der ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen.....	51
6.7.2	Sensitivität und Spezifität der ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen .....	53
6.8	ROC-Kurven-Vergleich .....	57
7	Diskussion .....	62
7.1	Diskussion der Problemstellung.....	62
7.2	Diskussion von Material und Methode .....	63
7.2.1	Auswahl und Lagerung der Zähne .....	63
7.2.2	Visuelle Untersuchung.....	64
7.2.3	Kariesdetektion an digitalen Abbildungen .....	65
7.2.4	Herstellung der Zahnhartschnitte .....	66
7.2.5	Histologie als Goldstandard .....	66
7.2.6	Studiendesign.....	67
7.3	Diskussion der Ergebnisse .....	68
7.3.1	Diskussion der Verteilung .....	68
7.3.2	Reproduzierbarkeit der ICDAS-Diagnostik.....	69
7.3.3	Korrelation .....	73
7.3.4	Validität, diagnostische Güte .....	74
7.4	Schlussfolgerung und klinische Relevanz .....	76
8	Zusammenfassungen .....	78
8.1	Zusammenfassung .....	78
8.2	Zusammenfassung Englisch.....	80
9	Literaturverzeichnis.....	82
10	Materialliste .....	96
11	Verzeichnis akademischer Lehrer .....	97
12	Danksagung.....	98

# 1 Weitere Verzeichnisse

## 1.1 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Art der Versorgung - Zahl eins im zweistelligen ICDAS Code [Ismail 2007]: .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 2: Versuchsplan .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 3: ICDAS-Kriterien zur okklusalen Kariesdiagnostik (Quelle: Criteria Manual International Caries Detection and Assessment System, Bogota 2008). Fotografien: C. Behrens. ....</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 4: Histologie Klassifikation nach Downer [1975]. ....</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 5: Intrarater-Reproduzierbarkeit von Untersucher 1 und Untersucher 2 bei der Befundung extrahierter Zähne nach ICDAS-Kriterien.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabelle 6: Interrater-Reliabilität von Untersucher 1 und Untersucher 2 bei der Befundung extrahierter Zähne nach ICDAS-Kriterien.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabelle 7: Jeweilige Intrarater-Reliabilität der Untersucher 1, Untersucher 2, Untersucher 3 und Untersucher 4 .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 8: Interrater-Reliabilität zwischen den Untersuchern 1, 2, 3 und 4 bei Befundung digitaler Abbildung nach ICDAS-Kriterien. Linear gewichteter Kappa, zugehöriges 95% Konfidenzintervall jeweils in Klammern.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabelle 9: Rangkorrelationskoeffizienten der ICDAS-Diagnostiken im Vergleich zur Histologie.....</i>	<i>43</i>

<i>Tabelle 10: Häufigkeitsverteilung von ICDAS-Diagnostik am extrahierten Zahn und Histologie für Untersucher 1.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabelle 11: Häufigkeitsverteilung von ICDAS-Diagnostik am extrahierten Zahn und Histologie für Untersucher 2.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 12: Häufigkeitsverteilung von ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen und Histologie für Untersucher 1.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 13: Häufigkeitsverteilung von ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen und Histologie für Untersucher 2.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabelle 14: Häufigkeitsverteilung von ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen und Histologie für Untersucher 3.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 15: Häufigkeitsverteilung von ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen und Histologie für Untersucher 4.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 16: ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen. Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley &amp; McNeil [1982] (SE), Sensitivität in % (Sens.), Spezifität in % (Spez.), Summe aus Sensitivität und Spezifität (%) auf D1-Niveau und D3-Niveau für Untersucher 1.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabelle 17: ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen. Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley &amp; McNeil [1982] (SE), Sensitivität in % (Sens.), Spezifität in % (Spez.), Summe aus Sensitivität und Spezifität (%) auf D1-Niveau und D3-Niveau für Untersucher 2.....</i>	<i>52</i>

<i>Tabelle 18: ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen. Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley &amp; McNeil [1982] (SE), Sensitivität in % (Sens.), Spezifität in % (Spez.), Summe aus Sensitivität und Spezifität (%) auf D1-Niveau und D3-Niveau für Untersucher 1.</i>	53
--	----

<i>Tabelle 19: ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen. Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley &amp; McNeil [1982] (SE), Sensitivität in % (Sens.), Spezifität in % (Spez.), Summe aus Sensitivität und Spezifität (%) auf D1-Niveau und D3-Niveau für Untersucher 2.</i>	54
--	----

<i>Tabelle 20: ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen. Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley &amp; McNeil [1982] (SE), Sensitivität in % (Sens.), Spezifität in % (Spez.), Summe aus Sensitivität und Spezifität (%) auf D1-Niveau und D3-Niveau für Untersucher 3.</i>	55
--	----

<i>Tabelle 21: ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen. Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley &amp; McNeil [1982] (SE), Sensitivität in % (Sens.), Spezifität in % (Spez.), Summe aus Sensitivität und Spezifität (%) auf D1-Niveau und D3-Niveau für Untersucher 4.</i>	56
--	----

<i>Tabelle 22: Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley &amp; McNeil [1982] (SE), und Signifikanzniveau (p-Wert) für Untersucher 1.</i>	58
--	----



<i>Tabelle 23: Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley &amp; McNeil [1982] (SE), und Signifikanzniveau (p-Wert) für Untersucher 2.....</i>	<i>60</i>
--	-----------

## 1.2 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: ICDAS – Decision Tree [www.iccms-web.com 2020] .....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 2: fotografierte Okklusalfäche mit markiertem Messpunkt .....</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Karies mittels ICDAS-Diagnostik am extrahierten Zahnsatz durch Untersucher 1 und Untersucher 2 .....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Karies mittels ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen durch Untersucher 1, Untersucher 2, Untersucher 3 und Untersucher 4 .....</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 5: ROC-Kurven für die ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen auf D1-Niveau (links) und D3-Niveau (rechts) für Untersucher 1. ....</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 6: ROC-Kurven für die ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen auf D1-Niveau (links) und D3-Niveau (rechts) für Untersucher 2. ....</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 7: ROC-Kurven für die ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen auf D1-Niveau (links) und D3-Niveau (rechts) für Untersucher 1. ....</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 8: ROC-Kurven für die ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen auf D1-Niveau (links) und D3-Niveau (rechts) für Untersucher 2. ....</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 9: ROC-Kurven für die ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen auf D1-Niveau (links) und D3-Niveau (rechts) für Untersucher 3. ....</i>	<i>55</i>
<i>Abbildung 10: ROC-Kurven für die ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen auf D1-Niveau (links) und D3-Niveau (rechts) für Untersucher 4. ....</i>	<i>56</i>

*Abbildung 11: ROC-Kurven Vergleich der ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen und digitalen Abbildungen auf Downer D1-Niveau für Untersucher 1. 57*

*Abbildung 12: ROC-Kurven Vergleich der ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen und digitalen Abbildungen auf Downer D3-Niveau für Untersucher 1. 58*

*Abbildung 13: ROC-Kurven Vergleich der ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen und digitalen Abbildungen auf Downer D1-Niveau für Untersucher 2. 59*

*Abbildung 14: ROC-Kurven Vergleich der ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen und digitalen Abbildungen auf Downer D3-Niveau für Untersucher 2. 60*

**1.3 Abkürzungsverzeichnis**

$\sum Sn + Sp$	Summe aus Sensitivität und Spezifität nach Kingman [1990]
°	Grad
µm	Mikrometer
Abb.	Abbildung
AUC	Area under Curve
bzw.	beziehungsweise
D1	Karies auf Dentin- und Schmelzebene
D3	Karies auf Dentinebene
dig.	digital
extr.	extrahiert
Histo	Histologiekriterien
ICDAS	International Caries Detection and Assessment System
ICCMS	International Caries Classification and Management System
K	Kappa
KI	Koinfidenzintervall
$\kappa_{\omega}$	gewichteter Kappa
Mm	Milimeter
ML	Messlänge
n	Anzahl
ROC	Reciever Operating Characteristic
$r_s$	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
s.	siehe
SE	Standardfehler nach Hanley & McNeil
Sens.	Sensitivität
Spez.	Spezifität
Tab.	Tabelle
U	Untersucher
Vs	versus
WHO	World Health Organisation
$\chi^2$	Chi-Quadrat
z.B.	zum Beispiel

## 2 Einleitung

Trotz seit Jahren stetigen Kariesrückgangs in einem Großteil der westlichen Welt, stellt Karies die meistverbreitete Erkrankung aller Menschen weltweit dar [Sharma et al. 2017]. Ihrer Diagnose, Verlaufskontrolle und Therapie kommt daher im zahnärztlichen Alltag eine große Bedeutung zu.

Die Basis einer Befunderhebung bildet dabei die visuelle Untersuchung der Zähne. Der Behandler beurteilt die Oberflächenstruktur, den Farbeindruck und die Schmelzkontinuität. Anhand dieser Informationen entscheidet er über den Gesundheitszustand und Behandlungsbedarf eines Zahnes.

Eine Vielzahl von Kariesdiagnosemethoden wurde publiziert. Das im Jahr 2005 in modifizierter Form durch internationale Kariologen eingeführte Internationale Caries Detection and Assessment System (ICDAS) führt bisherige bewährte Kariesdiagnosesysteme zu einem neuen Konzept zusammen. Epidemiologische und klinische Studien sollen vergleichbarer werden und dem Praktiker eine standardisierte Kariesdetektion ermöglichen. Bereits initialkariöse Veränderungen des Zahnschmelzes werden registriert und tragen der verlangsamten Kariesprogression und den daher zunehmenden präventiven und minimalinvasiven Therapieoptionen Rechnung. Der Einsatz eines Kariesdiagnosesystems, welches bereits initialkariöse Läsionen erfasst, bietet den Vorteil, eine mögliche Kariesprogression in den Aufzeichnungen zu bemerken und nachvollziehen zu können [Nyvad et al. 1999]. Wird Karies erst im kavitierten Stadium als krankhaft erfasst, führt dies zu einer Unterschätzung der Karieserfahrung einer Bevölkerung [Pitts 1988].

Das Erlernen der ICDAS Kriterien gliedert sich derzeit in zwei Teile. In einem halbtägigen theoretischen Kurs werden den Teilnehmern digitale Abbildungen gesunder Zähne und Zähne verschiedener Kariesstadien präsentiert. Die ICDAS-Codes werden gemeinsam ermittelt und diskutiert. Daran schließt sich ein mindestens zweitägiges Untersucher-Training an gesunden und kariösen Zahnoberflächen an, idealerweise in vivo.

Die Eignung digitaler Abbildungen zur Kariesdetektion ist weitgehend nicht untersucht. Nicht nur bezüglich Schulungszwecken, sondern auch hinsichtlich zunehmender multizentrischer Studien und der vereinfachten Logistik bei

Verwendung digitalisierter Informationssätze, könnte dieser Frage in Zukunft eine steigende Bedeutung zukommen.

Die vorliegende Dissertation stellt daher eine in-vitro Untersuchung vor, die sich mit der diagnostischen Güte und Reproduzierbarkeit des ICDAS bei Befundung an digitalen Abbildungen im Vergleich zur Befunderhebung an extrahierten Zähnen beschäftigt.

### 3 Literaturübersicht

#### 3.1 Ätiologie der Karies

Karies ist die am weitesten verbreitete Erkrankungsform des Zahnhartgewebes und resultiert in ihrer Zerstörung. Miller entwickelte 1884 seine chemisch-parasitäre Kariestheorie, nach der kariogene Mikroorganismen unter Zuführung von Substrat (v.a. niedermolekulare Kohlenhydrate) organische Säuren produzieren, die zu einer Entmineralisierung des Zahnschmelzes führen [Miller 1889]. Keyes verifizierte Millers Theorie. Er ergänzte, dass zur Kariesentstehung zwingend Substrat, Mikroorganismen und der Zahn als Wirt vorhanden sein müssen [Keyes 1962]. König erweiterte um den modulierenden Zeitaspekt in dem die Säuren Wirkung auf den Schmelz zeigen [König 1971]. Alle vier von Keyes und König benannten Faktoren sind für die Entstehung einer Karies notwendig. Zusätzliche sekundäre Faktoren, wie Dauer und Häufigkeit der Substratzufuhr, Zahnmorphologie, Pufferkapazität und Menge des Speichels, sowie sozioökonomische Komponenten, können das individuelle Kariesrisiko beeinflussen [Hellwig, 2009].

Black [1914] fand heraus, dass die in der Plaque lokalisierten, und damit dem Zahn direkt anhaftenden Mikroorganismen, die für die Kariesentstehung bedeutenden Bakterien darstellen. Vor allem Mutans-Streptokokken produzieren Pyruvat und Lactat. Als Folge sinkt der pH-Wert in der Plaque, mineralische Ionen werden aus dem Kristallgitter des Schmelzes gelöst und diffundieren dem Konzentrationsgradienten folgend in die Plaque. Dieser Vorgang wird als Demineralisation bezeichnet. Steigt der pH-Wert in der Plaque aufgrund der Pufferkapazität des Speichels wieder an, übersättigt der Biofilm an Kalziumionen sowie Phosphationen. Dies bedingt dass die Ionen in den Zahnschmelz zurückdiffundieren. Der Zahnschmelz remineralisiert. Levine [1977] führte für diesen Vorgang die Bezeichnung *Ionenwippe* ein. Ist der Anteil an Demineralisation im Rahmen dieser (De-) Mineralisationszyklen größer, kommt es zu einem Nettomineralverlust und damit zur Entstehung einer Kariesläsion [Silverstone 1973].

### 3.2 Fissurenkaries

Die Kariesprävalenz ist in Deutschland seit den 1970er Jahren rückläufig [DAJ 2017]. Seit 1989 wird die Entwicklung der Karieserfahrung in Deutschland im Rahmen der Deutschen Mundgesundheitsstudien (DMS) untersucht. Von 1989 (DMS I) bis 2014 (DMS V) reduzierte sich der DMFT-Index bei den 14-/12-Jährigen um nahezu 90% [DMS V]. Im DMFT-Index werden kariöse (decayed), fehlende (missing) und gefüllte (filled) Zähne erhoben. Der Index umschreibt damit die Karieserfahrung. Dieser Erfolg ist auf die breite Verfügbarkeit fluoridierter Zahnpasta, die Gruppenprophylaxe in Kindergärten und Schulen sowie die Individualprophylaxe in den zahnärztlichen Praxen zurückzuführen [Jordan et al. 2019]. Mit dem Kariesrückgang ging auch eine geänderte Schwerpunktlagerung der Karies einher. Konzentrierten sich 1970 noch 51,4% der Karies auf Fissuren und Grübchen, nimmt 2000 die Fissuren- und Grübchenkaries mit 77% einen proportional deutlich größeren Anteil am Gesamtbefall bei den 14-Jährigen ein [Menghini 2003]. Nach Untersuchungen von Steiner et al. [1994] kann die Okklusalkaries sogar 90% der Karieserfahrung betragen.

Nagano [1961] klassifizierte die Fissuren nach ihrer Morphologie in folgende Typen: 1) V-Typ: breiter Fissureneingang, sich zum Fissurengrund hin verjüngend; 2) U-Typ: Fissureneingang und Boden nahezu gleichen Durchmessers; 3) I-Typ: enge, schlitzförmige Fissur; 4) IK-Typ: schmaler Fissureneingang mit ampullenförmiger Ausdehnung am Fissurenboden; 5) andere Formen. Er beobachtete dass die Karies beim V-Typ vom Fissurengrund, beim U-Typ von den Fissurenwänden und beim I- und IK-Typ wiederum vom Fissureneingang ausgehen. König [1963] bestätigte Naganos Ergebnisse und befand die Steilheit der Fissurenwände und anatomischen Retentionsmöglichkeiten für Plaque als bedeutsamer für die Kariesgefährdung als die Fissurentiefe. Die Schmelzdicke im Fissurengrund beträgt oftmals weniger als 0,5mm [Paris et al. 2012].

Im Wechselgebiss ist das Kariesrisiko erhöht. Mangels noch nicht mehrfach durchlaufener Mineralisationszyklen liegt bei Zähnen im Durchbruch noch keine Maturation des Schmelzes vor [Crabb 1976]. Carvalho [1989] konnte an 57 Grundschulern zeigen, dass fehlender Antagonistenkontakt, und damit mangelnde funktionelle Nutzung, eine erhöhte Plaqueakkumulation bedingen.



Pearce [1999] schreibt lokal applizierten, fluoridhaltigen Präparaten (wie Zahnpasta) eine schlechtere Wirksamkeit in den schwer erreichbaren Fissuren zu. Lussi [2002] konnte anhand von Schliffpräparaten die Unerreichbarkeit zahlreicher Fissuren für die mechanische Reinigung mittels Zahnbürste zeigen.

### **3.3 Kariesdiagnoseverfahren**

Die Diagnose nicht-kavierter Okklusalkaries ist eine Herausforderung, teils höchst subjektiv und die ihr inhärenten Unsicherheiten können zu stark variierenden Behandlungsentscheidungen führen [McComb 2001]. Das Ziel moderner Zahnheilkunde sollte eine präventive Arbeits- und Herangehensweise sein, was eine frühzeitige Kariesdiagnose bedingt [Lussi 2004].

#### **3.3.1 Visuelle und visuell-taktile Kariesdiagnostik**

Die visuell-taktile Untersuchung stellt die häufigste Untersuchungsform in der zahnärztlichen Praxis dar. Mithilfe des OP-Lichtes, Spiegel und zahnärztlicher Sonde werden die gereinigten und getrockneten Zähne hinsichtlich Farbveränderungen, (Dis-) Kontinuität und Texturveränderungen der Schmelzoberfläche untersucht und gegebenenfalls sondiert.

Der Einsatz der zahnärztlichen Sonde wird zunehmend kritisch hinterfragt. Kühnisch [2007] konnte eine sondenbedingte Zerstörung der vormals intakten Oberfläche an allen initialkariösen in der Studie sondierten Zähnen nachweisen. 20 gesunde dritte Molaren und 20 initialkariös veränderte Zähne wurden verwendet, wovon jeweils zehn sondiert und die jeweils andere Hälfte als Kontrollgruppe diente. Anschließend wurden die Zähne hemisektioniert und unter dem Rasterelektronenmikroskop untersucht. Bereits 1987 hatten Ekstrand et al. ebenfalls von einer Zerstörung der demineralisierten Schmelzstruktur nach Sondierung berichtet. 1995 wies Yassin per Microradiographie ebenfalls die Invasivität des zahnärztlichen Sondierens mittels spitzer Sonde nach [Yassin 1995]. Die WHO empfiehlt daher das drucklose Sondieren mit einer stumpfen CPI-Sonde, die an ihrer Spitze eine kleine Kugel trägt [WHO 1997], Kühnisch rät gänzlich auf die Sondierung zu verzichten.

Sisodia et al. [2014] untersuchten den Einfluss von Vergrößerungshilfen auf die Kariesdiagnose und Therapieentscheidung. 60 extrahierte Molaren wurden von

zwei Untersuchern nach ICDAS Kriterien mit einer CPI-Sonde einmal mit und einmal ohne Vergrößerungshilfe bewertet. Es wurde eine Lupenbrille mit 1,8-facher Vergrößerung und ein OP-Mikroskop mit 3,4-facher Vergrößerung genutzt. Als Goldstandard diene die histologische Untersuchung der hemisektionierten Zähne. Die Interrater-Reproduzierbarkeit liegt bei 0,40 (ohne Hilfsmittel), 0,51 (Lupenbrille) und 0,63 (OP-Mikroskop). Die Autoren empfehlen die Kariesdiagnose mit Vergrößerungshilfe unter Berücksichtigung des kleineren Fokusfeldes.

1898 verglich Lussi die Spezifität und Sensitivität verschiedener Kariesdiagnostikmethoden bei eigenen vorangegangenen Untersuchungen für okklusale Läsionen an a) gesunden Zähnen, b) an Karies erkrankten, kavitierten Zähnen und c) nicht kavitierten kariösen Zähnen [Lussi 1993, Lussi 1995, Lussi 1996]. Die Spezifität für herkömmliche kariesdiagnostische Methoden (visuell, visuell-taktil) liegt bei 93%, unter Zuhilfenahme von Bissflügelaufnahmen zwischen 83% und 87% und mittels Widerstandsmessung bei 77%. Die Sensitivität für Dentinkaries ohne Schmelzeinbruch liegt für die herkömmlichen visuell/ visuell-taktilen Methoden zwischen 12% und 14%, für die Bissflügeldiagnostik zwischen 44% und 49% und für die Widerstandsmessung bei 93%. Die Sensitivität für kavitierte Läsionen liegt bei allen Methoden bei über 60%. Bei ausschließlicher Anwendung der visuell-taktilen Kariesdiagnostik besteht demnach die Gefahr behandlungsbedürftige Dentindefekte zu übersehen. Lussi empfiehlt zuerst visuell kariesdiagnostisch zu untersuchen und bei Zweifeln bezüglich der Kariesextension die Diagnostik um die Widerstandsmessung zu ergänzen [Lussi 1998].

### **3.3.2 Nyvad-Kriterien zur Kariesdiagnostik**

Im Jahr 1999 veröffentlichten Nyvad et al. [1999] neue Kriterien zur Kariesdiagnostik, da die bis dahin veröffentlichten Kariesdiagnosesysteme nicht die dynamische Natur der Erkrankung Karies berücksichtigten. Der Kariesrückgang bei Kindern wie Erwachsenen erfordere für die Zukunft sensitivere diagnostische Maßstäbe für die Befundung. Nyvad Kriterien teilen Läsionen in aktive und inaktive Karies unter Verwendung visuell-taktile Methoden ein. In zehn diagnostischen Codes wird sowohl die Kariesaktivität, als auch in ansteigender Schwere die Oberflächenbeschaffenheit kategorisiert:

0 = gesund; 1 = aktive Karies, intakte Oberfläche; 2 = aktive Karies, Oberflächendiskontinuität; 3 = aktive Karies, Kavität; 4 = inaktive Karies, intakte Oberfläche; 5 = inaktive Karies, Oberflächendiskontinuität; 6 = inaktive Karies, Kavität; 7 = Füllung; 8 = Füllung und aktive Karies; 9 = Füllung und inaktive Karies. Als taktile Hilfe dient eine Explorersonde.

Sellos [1999] sieht in den Nyvad Kriterien den Vorteil Kariesstadium und Aktivität zeitgleich unkompliziert erfassen zu können. Angewendet an Milchzähnen lieferten die Nyvad Kriterien verlässliche Ergebnisse. Braga [2009] zeigte in einer in vitro Studie eine gute Korrelation zwischen Nyvad Kriterien und histologischer Kariesausdehnung.

### **3.3.3 International Caries Detection and Assessment System (ICDAS)**

Auf dem International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials (ICW-CCT) im Jahr 2002 wurde die Idee geboren, diverse Kariesklassifikationssysteme zu einem Standard zu bündeln, welcher zukünftig den Vergleich epidemiologischer Untersuchungen, wissenschaftlicher Forschungsergebnisse und zahnärztlicher Praxis ermöglicht. Dieser neue Standard solle auch die Erfassung und Einschätzung nicht kavittierter Läsionen umfassen [Pitts 2004].

Vornehmlich basierend auf der Arbeit von Ekstrand [1997], sowie unter Einfluss der Ergebnisse von Pitts [1988], Ismail [1992], Fyffe [2000], Ismail [1995], Ricketts [2002] und Chesters [2002], wurde das International Caries and Detection System ICDAS entwickelt [Ismail 2007]. „Ein standardisiertes System [...], das zu qualitativ höheren Informationen führen soll um Entscheidungen über Diagnose, Prognose und klinisches Management der Karies sowohl auf individueller als auch öffentlicher Ebene zu ermöglichen“ [Pitts 2004].

Mittels ICDAS bestimmt man die Oberflächenveränderung und die potentielle histologische Tiefe der Kariesläsion anhand Oberflächeneigenschaften der Zahnstruktur [ICDAS Coordinating Committee 2005].

Da die histologische Ausdehnung von Dentinläsionen ohne freiliegendes Zahnbein jedoch mit Schattenbildung im Dentin größer war als zunächst angenommen, wurde das ICDAS überarbeitet und mit geänderter Reihenfolge der Kariescodes der histologischen Schweregrade entsprechend als ICDAS-II im Jahr 2005 vorgestellt (Code 3 und 4 wurden getauscht) [Pitts 2013].

Die Beurteilung der Zahnflächen erfolgt bei ICDAS über einen zweistelligen Code. Die erste Zahl steht dabei für die konservierende/ prothetische Versorgung des Zahnes, die zweite Zahl für die Schwere der Karies [ICDAS Coordinating Committee 2009].

*Tabelle 1: Art der Versorgung - Zahl eins im zweistelligen ICDAS Code [Ismail 2007]:*

<b>Code</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>0</b>	Natürlicher Zahn, ohne Versiegelung, ohne Versorgung
<b>1</b>	Partielle Fissurenversiegelung
<b>2</b>	Vollständige Fissurenversiegelung
<b>3</b>	Zahnfarbene Füllung (Komposit, Glas-Ionomer-Zement)
<b>4</b>	Amalgamfüllung
<b>5</b>	Nichtedelmetallkrone
<b>6</b>	Keramik- oder Goldkrone /Veneer
<b>7</b>	Defekte oder verlorene Restoration
<b>8</b>	Provisorische Versorgung
<b>9</b>	Zahn existiert nicht / Spezialfälle
	9-6 Beurteilung aufgrund mangelnder Sichtbarkeit nicht möglich
	9-7 Zahnverlust durch Karies
	9-8 Zahnverlust durch andere Ursachen als Karies
	9-9 Zahn noch nicht durchgebrochen

Die Entscheidung für einen Kariescode trifft der Untersucher mit Hilfe eines ICDAS-Entscheidungsbaumes. Die Untersuchung sollte am gesäuberten Zahn unter fünfsekündiger Trocknung, gegebenenfalls unter Zuhilfenahme einer stumpfen WHO-Sonde erfolgen.

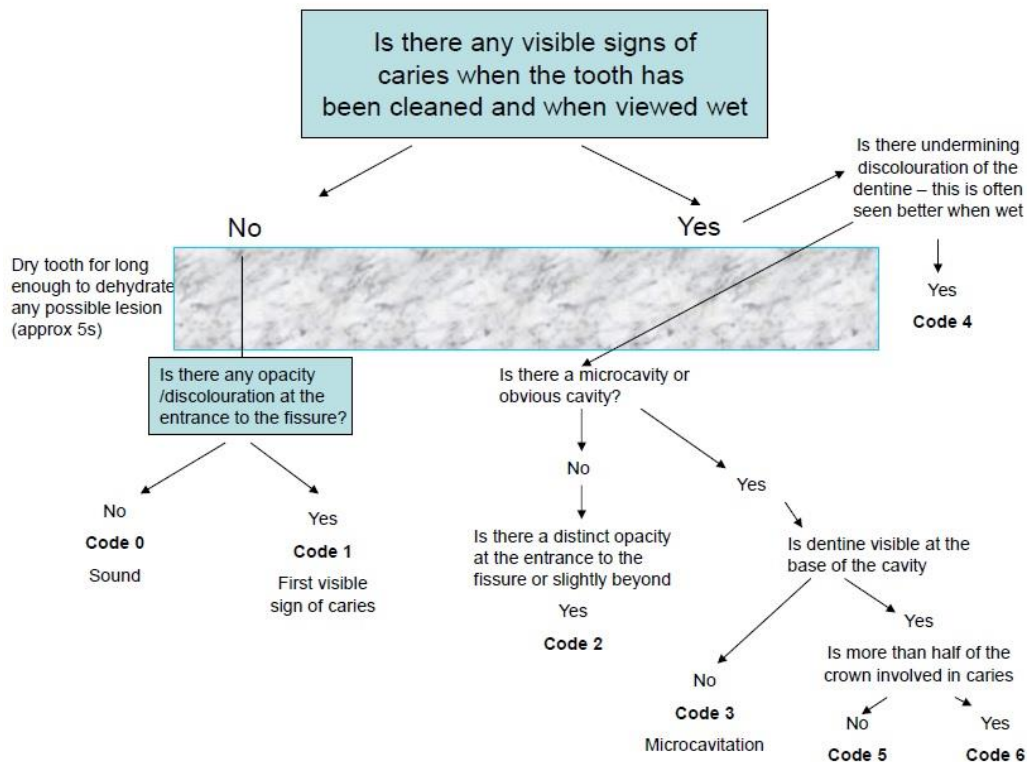


Abbildung 1: ICDAS – Decision Tree [www.iccms-web.com 2020]

Das ICDAS Coordinating Committee [2009] empfiehlt in Studien zur Verlässlichkeit des International Caries and Detection Systems als statistische Größen, die Intra-Rater-Reproduzierbarkeit, den Kappakoeffizienten für den Senioruntersucher und jeden Untersucher einzeln, sowie Kreuztabellen zu veröffentlichen.

Jablonski et al. [2008] konnten eine Reproduzierbarkeit des ICDAS in verschiedenen Krankheitsstadien nachweisen. Die gewichteten Kappa-Werte für die Inter- und Intra-Rater-Reproduzierbarkeit beliefen sich zwischen 0,62 und 0,83. Die visuelle und histologische Untersuchung korrelierte moderat. Auf D1 Niveau lag die Spezifität bei 0,74-0,91 und die Sensitivität bei 0,59-0,73. Auf D3 Niveau befand sich die Spezifität zwischen 0,82-0,94 und die Sensitivität bei 0,48-0,83.

Auf Workshops der ICDAS Foundation in Kooperation mit internationalen dentalen Organisationen wurde basierend auf ICDAS ein umfangreiches, standardisiertes Caries Classification and Management System ICCMS entwickelt. ICCMS trägt der Mission „Zahnhartsubstanz zu bewahren und nur

bei gegebener Indikation zu restaurieren“ [Ismail 2013] mithilfe eines Kariesmanagement-Pfads durch ein umfangreiches Set klinischer step-by-step Protokolle Rechnung. Diese helfen dem Praktiker, einen Behandlungsplan basierend auf klinischen Befunden zu entwickeln [Ismail 2015]. Berücksichtigung finden dabei die Läsionsaktivität und das individuelle Kariesrisiko [ICDAS Foundation 2014]. Anwender des ICCMS müssen nicht zwangsläufig auf alle sechs ICDAS Kariescodes zurückgreifen, sondern können auch auf eine fusionierte Variante der ICDAS Codes zurückgreifen: 0: gesund, A: initialkariöse Läsionen (vergleichbar Codes 1+2), B: moderate Karies (vergleichbar Codes 3+4), C: ausgedehnte Karies (vergleichbar Codes 5+6) [Pitts 2013].

### **3.3.4 Kariesaktivität**

Die Aktivität einer Kariesläsion ist ein bedeutender Einflußfaktor auf eine angemessene Behandlungsentscheidung in der Kariestherapie [Floriano 2014]. Während eine inaktive Läsion außer der täglichen Anwendung fluoridhaltiger Zahnpasta keiner Intervention bedarf, benötigt eine aktive kariöse Läsion eine invasive oder noninvasive Behandlung [Nyvad u. Fejerskov 1997].

### **3.3.5 Kariesdiagnostik an digitalen Abbildungen**

Die Studienlage zu Kariesdiagnose an digitalen Abbildungen, sowohl in vivo als auch in vitro, ist dünn.

Van Hilsen et al. [2013] untersuchten die Kariesdiagnose an digitalen Abbildungen an nicht kavitierten Zähnen (ICDAS Code 0,1 und 2). Ebenfalls untersucht wurde die Diagnose mittels Midwest Caries ID (Fluoreszenzkamera) und CP-OCT (Koherenztomographie). Als Goldstandard diente die histologische Untersuchung. Jeder Zahn wurde zweimal fotografiert: 1) mit künstlicher Speichellösung beträufelt 2) nach zehn-sekündiger Lufttrocknung. Nur ein Untersucher erreichte per „Fotodiagnose“ ein signifikantes Ergebnis. Die Autoren sehen Probleme bei der Unterscheidung zwischen Verfärbungen und kariesbedingter Verfärbung der Fissur. Das Beurteilen nicht kavittierter Läsion bleibe eine Herausforderung, sowohl mit Hilfsmitteln, als auch rein visuell an digitalen Abbildungen.

Boye et al. [2013] untersuchten in ihrer epidemiologischen in vivo Studie die Kariesdiagnostik an Bildern im Vergleich zur visuellen Untersuchung am Patienten. Bis zu 24 Aufnahmen wurden pro Patient mit einer Intraoralkamera angefertigt, die Zähne wurden vorher mittels Watterollen getrocknet. Die Beurteilung der Kariesextension erfolgte in beiden Fällen nach der klinischen Untersuchungsmethode, entwickelt durch die British Association for the Study of Community Dentistry (BASCD): ein 4-Code-System das auf der Basis von Dentinbeteiligung klassifiziert. Die Sensitivität bei der Untersuchung 5-jähriger lag bei: 87,8%-95,8%, bei der Untersuchung 10- bis 11-Jähriger bei 58,5%-71,7%. Zwischen der direkten Untersuchung am Patienten und der Untersuchung an digitalen Abbildungen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Übereinstimmung lag bei den 5-Jährigen bei 0,85 (gewichteter Kappa) und 0,78 für die 10- bis 11-Jährigen.

Boye [2012] untersuchte außerdem in einer in vitro Studie die Untersuchung an extrahierten Zähnen im Vergleich zur Diagnose an digitalen Abbildungen mit Histologie als Goldstandard. Auch hier wurde nach BASCD-Klassifikation bewertet, die Zähne wurden mit einer Intraoralkamera digitalisiert. Die digitalen Abbildungen wurden zweimal befundet: im ersten Durchlauf mit Zeitvorgabe als Diaprsentation, im zweiten Durchlauf ohne Zeitlimit am Bildschirm. Die Intra-Untersucher-Übereinstimmung bewegte sich zwischen moderater und nahezu perfekter Übereinstimmung (gewichteter Kappa: 0,59-0,92). Die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit stimmte substantiell überein (Kappa 0,60). Der McNemar Test ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Untersuchung am extrahierten Zahn und der digitalen Abbildung. Die Sensitivität der Untersuchung an digitalen Abbildungen (81,3%) lag jedoch über der visuellen Untersuchung am Zahn (65,6%). Die Spezifität war vergleichbar.

Gomez et al. [2013] untersuchten ebenfalls die in vitro Performance der fotografiegestützten Kariesdiagnostik. Die Zähne wurden nach Reinigung und 5-sekündiger Trocknung digitalisiert, die Beurteilung folgte nach ICDAS-Kriterien. Zur Validierung dienten die anschließend hemisektionierten und histologisch untersuchten Zähne. Die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit (gewichteter Kappa +- Standardfehler) lag bei 0,84 +-0,08. Die Korrelation zwischen Histologie und der Befundung digitaler Abbildung war hoch ( $p < 0,01$ ).

Eine Studie zur Detektion von White Spot Läsionen an Bukkalflächen per Digitalkamera stellte Iijima [2008] vor. Das Monitoring von De- und Remineralisation sei unter Verwendung einer Farbkarte bei der Aufnahme und anschließender Kalibrierung per Fotosoftware anhand digitaler Aufnahmen möglich.



## 4 Zielsetzung

In der vorliegenden In-Vitro-Studie war Ziel die diagnostische Güte des ICDAS Verfahren zur Detektion der Okklusalkaries an digitalen Abbildungen zu validieren.

Zu Grunde lag die Annahme, dass eine Okklusalkaries auf einer digitalen Abbildung detektiert werden kann, obwohl der Einsatz zusätzlicher Hilfsmittel wie Sonde und Multifunktionsspritze (Püster) nicht möglich ist.

Als Untersuchungsobjekt dienten die Okklusalfächen extrahierter Molaren unterschiedlicher kariöser Zerstörungsgrade in vitro und in digitalisierter Form. Nach Festlegung von zu beurteilenden Messpunkten, sollten diese Bereiche auf den digitalen Abbildungen zweimalig mit Abstand nach ICDAS Kriterien beurteilt werden. Als Referenzuntersuchung sollte die Untersuchung der extrahierten Zähne in vitro dienen.

Die tatsächliche Kariesausdehnung sollte mittels histologischer Konsensbefundung als Goldstandard an den zu Zahnhartschnitten aufbereiteten extrahierten Zähnen ermittelt werden.

Die aufgestellte Hypothese lautet: die diagnostische Güte des ICDAS, ermittelt an extrahierten Zähnen und deren digitalen Abbildungen, unterscheidet sich nicht signifikant.

Weitere Fragen, die in dieser Dissertation beantwortet werden sollen:

- Wie hoch ist die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit des ICDAS an:
  - extrahierten Zähnen
  - digitalen Abbildungen
- Wie hoch ist die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit des ICDAS an:
  - extrahierten Zähnen
  - digitalen Abbildungen

## 5 Material & Methode

100 extrahierte Zähne wurden in vitro und in fotografierter Form nach ICDAS Kriterien untersucht und die Kariesausdehnung nach histologischer Aufbereitung mit dem Goldstandard abgeglichen, um die diagnostische Güte beider Verfahren zu bestimmen und zu vergleichen.

### 5.1 Versuchsdesign

Im Folgenden wird das Versuchsdesign schematisch dargestellt.

*Tabelle 2: Versuchsplan*

Auswahl der Prämolaren und Molaren aus einem Pool bleibender, extrahierter Zähne
Reinigung des Zahnsatzes
Digitalfotografische Dokumentation der Okklusalflächen
Festlegen von Messpunkten auf den Okklusalflächen
Untersucher 1 u. Untersucher 2: Beurteilen der Messpunkte nach ICDAS-Kriterien am Satz extrahierter Zähne
Wiederholung der Untersuchung
Herstellung der histologischen Zahnschnitte
Untersucher 1, Untersucher 2, Untersucher 3 und Untersucher 4: beurteilen der Messpunkte nach ICDAS-Kriterien auf digitalen Abbildungen
Wiederholung der Untersuchung
Histologische Auswertung der Zahnhartschnitte
Statistische Auswertung der Ergebnisse

## **5.2 Material**

### **5.2.1 Auswahl und Vorbereitung der Zähne**

Es wurden 100 humane bleibende Zähne (85 Molaren, 15 Prämolaren) sowohl gesunder Natur als auch in verschiedenen kariösen Stadien verwendet (ICDAS Karies Codes 0-6). Iatrogen veränderte Zähne, etwa durch Füllungen, Fissurenversiegelungen oder Extraktionsbeschädigung wurden ausgeschlossen. Ein positives Ethikvotum des medizinethischen Komitees der Universität Brüssel lag vor (Referenznummer B14320096266).

Gelagert wurden die Zähne nach Extraktion in Thymol-Lösung.

Die anschließende Reinigung erfolgte mittels Ultraschallscaler und PROPHYflex 3 (beides KaVo Dental GmbH, Biberach an der Riß) sowie Zahnreinigungsbürstchen und Zircate Prophy Paste (Dentsply DeTrey, Konstanz). Zahnstein, ernährungsbedingte Verfärbungen und Plaque wurden entfernt.

Der Reinigung schloss sich eine fortlaufende orale /vestibuläre Nummerierung der Zähne mittels rotierendem Instrumentarium und wasserfestem Stift an.

Anschließend wurden die Zähne in Wasser aufbewahrt.

### **5.2.2 Digitalfotografische Erfassung**

Die fotografische Erfassung der Okklusalflächen der Zähne erfolgte mit einer digitalen Spiegelreflexkamera des Modells Canon EOS 30D. Als Objektiv wurde ein Canon MP-E 65mm f/2,8 eingesetzt, ein manuell fokussierbares Macro-Objektiv für die Abbildungsmaßstäbe 1:1 bis 5:1. Die Zähne wurden mittels tageslichthellem Ringlicht schräg beleuchtet.

Die Zähne wurden in getrocknetem Zustand neben einem Glasmaßstab fotografiert.

### **5.2.3 Auswahl der Messpunkte**

Pro Okklusalfäche wurden bis zu 4 Messpunkte durch den Referenzuntersucher (Untersucher 1) festgelegt. Diese Messpunkte wurden in den digitalen Abbildungen durch Kreise markiert und nummeriert.



*Abbildung 2: fotografierte Okklusalfäche mit markiertem Messpunkt*

Die so vorbereiteten digitalen Fotografien wurden entsprechend der Reihenfolge der nummerierten Zähne in einer PowerPoint Präsentation zusammengestellt. Diese PowerPoint Präsentation stand allen teilnehmenden Untersuchern für die zwei Untersuchungen der digitalen Abbildungen zur Verfügung.

Die digitalen Aufnahmen wurden außerdem in einem Farbkatalog jeweils gemeinsam mit einer Befundtabelle angeordnet. Diese Tabelle enthielt die nummerierten Messpunkte und die jeweilige Auswahlmöglichkeit unter allen sieben ICDAS-Karies-Codes. Der Katalog diente der Lokalisation der zu befundenden Stellen.

Die Ergebnisse der Untersuchung der fotografierten Zähne wurden in eine dafür zusammengestellte Datentabelle übertragen. Sie enthielt die fortlaufend nummerierten Zähne, die mit Zahlen versehenen Messpunkte und Felder zum Eintragen des entsprechenden ICDAS Codes. Sie lag jedem Teilnehmer in zweifacher Ausführung vor.

Für die histologische Konsens-Untersuchung wurde ein Befundblatt gestaltet, das die Zuordnung und Befundung der verschiedenen Schnittebenen pro Zahn erlaubte.

## **5.3 Methode**

### **5.3.1 Untersucher**

An der vorliegenden In Vitro-Studie nahmen vier Untersucher teil. Drei der Teilnehmer sind erfahrene, approbierte Zahnärzte (Untersucher 1-3, A.J.-M., V.S., P.B.), eine Teilnehmerin Studentin im klinischen Abschnitt (Untersucher 4, C.B.).

Die Untersuchung der extrahierten Zähne wurde von Untersucher 1 und Untersucher 2 durchgeführt, die Befundung der digitalen Abbildungen der Okklusalfächen durch alle vier Teilnehmer.

Vor der visuellen Untersuchung der extrahierten Zähne, wurden Untersucher 1 und Untersucher 2 durch einen Referenzuntersucher in einer zweistündigen Lektion in die Anwendung des ICDAS eingewiesen [Jablonski-Momeni et al. 2008]. Das Training umfasste einen 30-minütigen Vortrag über das ICDAS, mit besonderer Betonung die gereinigten Zähne sowohl nass als auch trocken zu beurteilen. Des Weiteren wurden Fotografien von Okklusalfächen und deren korrespondierende histologische Schnitte gezeigt, 20 digitale Abbildungen okklusaler Flächen nach ICDAS beurteilt und etwa 20 extrahierte Zähne untersucht, die nicht Teil der in der Studie verwendeten Zähne waren.

Vor der visuellen Untersuchung der digitalen Abbildungen okklusaler Kauflächen absolvierten alle Teilnehmer zur theoretischen Aneignung der ICDAS-Kriterien das 90-minütige ICDAS E-Learning Programm auf [www.icdas.org](http://www.icdas.org).

### **5.3.2 Visuelle Befundung**

#### *An extrahierten Zähnen*

Die visuelle Befunderhebung an den extrahierten Zähnen durch Untersucher 1 und Untersucher 2 erfolgte nach den ICDAS-Kriterien für okklusale Kariesdiagnostik [Jablonski-Momeni et al. 2009].








Pro Behandler stand ein Arbeitsplatz im Phantomkursraum des Zentrums für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde Marburg zur Verfügung. Diese sind ausgestattet mit einer Operationsleuchte, einer Multifunktionsspritze (Püster) und einer WHO-Sonde [WHO 1997].

#### *An digitalen Abbildungen*

Die visuelle Befunderhebung an digitalen Abbildungen durch Untersucher 1, Untersucher 2, Untersucher 3 und Untersucher 4 erfolgte nach ICDAS-Kriterien für okklusale Kariesdiagnostik zwei Mal im Abstand von 4 Wochen.

Die Betrachtung der Bilder erfolgte mittels IrfanView Software an einem Farbmonitor, ohne die Möglichkeit einer Veränderung der Bilder wie zB. Farbton- oder Kontraständerungen. Der Abstand Untersucher - Monitor betrug etwa 60cm.

**Tabelle 3: ICDAS-Kriterien zur okklusalen Kariesdiagnostik (Quelle: Criteria Manual International Caries Detection and Assessment System, Bogota 2008). Fotografien: C. Behrens.**

Beispielabbildung	ICDAS Code	Beschreibung
	0	Kein Nachweis für Karies.  Auch nach fünfsekündiger Lufttrocknung keine Veränderung der Schmelzopazität.
	1	Bei feuchter Schmelzoberfläche keine optischen Veränderungen sichtbar bzw. Schmelzveränderung streng auf Fissur begrenzt. Nach fünfsekündiger Lufttrocknung wird eine Schmelzopazität / kariesbedingte Schmelzverfärbung sichtbar.
	2	Bereits bei feuchter Schmelzoberfläche ist eine White Spot Läsion oder eine kariesbedingte Braunverfärbung der Zahnoberfläche sichtbar. Die Kariesausdehnung geht über die Fissur hinaus.
	3	Lokalisierter Schmelzeinbruch ohne freiliegendes Dentin, ohne Schattenbildung. Bereits bei feuchter Schmelzoberfläche ist eine White Spot Läsion oder eine kariesbedingte Braunverfärbung der Zahnoberfläche sichtbar. Der Schmelzeinbruch kann durch vorsichtiges Abfahren der kariös veränderten Stelle mit einer WHO-Sonde bestätigt werden.
	4	Schattenbildung ausgehend vom kariösen Dentin ohne oder in Begleitung von lokalisierten Schmelzeinbrüchen ohne sichtbares Dentin. Der Schatten kann bläulicher, gräulicher oder bräunlicher Färbung sein und ist bei feuchter Zahnoberfläche meist besser sichtbar.
	5	Eindeutige Kavitätenbildung im veränderten Schmelz mit freiliegendem Dentin. Die Ausbildung der Kavität ist auf weniger als die halbe Zahnoberfläche begrenzt. Zur Diagnostik des Schmelzverlustes kann die WHO-Sonde eingesetzt werden.
	6	Ausgedehnte, großflächige Kavitätenbildung mit deutlich freiliegendem Dentin, die sich auf mindestens die halbe Zahnoberfläche erstreckt.

### **5.3.3 Herstellung der Zahnhartschnitte**

Zur Vorbereitung der histologischen Untersuchung der Zähne wurden Zahnhartschnitte angefertigt.

Als Herstellungsmethode kam ein bereits etabliertes Verfahren, die Hartschnitt-Technik nicht entkalkter Zähne zu Anwendung [Stachniss 2005, 2009; Jablonski-Momeni 2008 et al., 2009].

Bis auf 0,5mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze wurden die Zahnkronen eingekürzt und anschließend mit 11-15 Serienschnitten je Zahn versehen. Die Schichtdicke der einzelnen Zahnhartschnitte betrug  $200\mu\text{m} \pm 30\mu\text{m}$ .

### **5.3.4 Histologische Beurteilung**

Zur Vorbereitung und Kalibrierung wurde vor der histologischen Untersuchung durch Untersucher 1 ein einstündiges Histologie-Training für die übrigen Untersucher abgehalten. Ziel war das Üben und Festigen der Klassifikation nach Downer, sowie der Klassifikation nach Ekstrand anhand von 50 digitalen Aufnahmen histologischer Zahnhartschnitte. Diese 50 Zahnhartschnitte fanden in der vorliegenden Studie keine Verwendung.

Daran schloss sich die histologische Befundung der Zahnhartschnitte in Form einer Konsensentscheidung an. Die histologischen Schnitte wurden in digitalisierter Form an einem geeigneten Bildschirm befundet, da die Beurteilung digitaler Abbildungen histologischer Schnittbilder vergleichbare Ergebnisse zur direkten Mikroskopie dieser Schnitte liefert [Jablonski-Momeni et al. 2009]. Um die Beurteilung der Zahnhartschnitte zum Erlangen eines Konsensbefundes diskutieren zu können, wurden die Bilder im abgedunkelten Raum mittels Beamer an eine Leinwand projiziert. Als Indizes zur Kariesbeurteilung wurden die Klassifikation nach Downer [1975], sowie die Klassifikation nach Ekstrand verwendet. Die Klassifikation nach Ekstrand wurde in die statistische Auswertung nicht einbezogen.



Tabelle 4: Histologie Klassifikation nach Downer [1975].

Code n. Downer	Beschreibung
0	Histologisch gesund
1	Schmelzkaries, beschränkt auf äußere Schmelzhälfte
2	Schmelzkaries, Ausdehnung bis zur Schmelz-Dentin-Grenze
3	Dentinkaries, beschränkt auf die äußere Dentinhälfte
4	Dentinkaries, Ausdehnung bis in die innere Dentinhälfte

Pro Bild haben Untersucher 1, 2, 3 und 4 eine persönliche unabhängige Beurteilung abgegeben, die anschließend gemeinsam miteinander verglichen wurde. Stimmt drei oder alle Untersucher in ihrer Befundung überein, wurde dieser Wert als Konsenswert übernommen. Bei größerer Diskrepanz wurde der Zahnhartschnitt diskutiert und so ein gemeinsamer Konsenswert gefunden. Dazu wurden die Fotografien mittels Beamer im abgedunkelten Raum an eine Leinwand projiziert. Da vier Zähne bei der Herstellung der Zahnhartschnitte beschädigt wurden, kamen auf 94 Zähne 166 Messpunkte. Lagen pro Messpunkt mehrere Schnitte vor, wurde die höchste Kariesausdehnung ermittelt und damit der höchste Wert für die statistische Auswertung herangezogen.

#### 5.4 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse der visuellen Untersuchung, der Untersuchung der digitalen Abbildungen und die Ergebnisse der histologischen Befundung wurden auf dafür entworfenen Dokumentationsbögen in Papierform erfasst. Anschließend erfolgte die Digitalisierung der Datensätze durch Eingabe in Microsoft Excel 2010. Die statistische Auswertung erfolgte mittels MedCalc Version 12.4.0 unter Berechnung des Kappa-Koeffizienten, des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman, Sensitivität und Spezifität, ROC und AUC.

### *Der Kappa-Koeffizient*

Bei vorliegenden kategorialen Merkmalen ist der Kappa-Koeffizient ein weit verbreitetes Maß zur Bewertung der Übereinstimmungsgüte [Cohen 1960]. Mit seiner Hilfe lässt sich sowohl das interrater agreement (Übereinstimmungsgüte mehrerer Untersucher bei Beurteilung eines Sachverhalts) als auch das intrarater agreement (Konstanz der mehrfachen Beurteilung eines Sachverhalts durch einen Untersucher) ermitteln.

Beurteilt wurden die ermittelten Kappa-Werte nach Landis und Koch [1977]:

- K <0: schlechte Übereinstimmung
- K 0-0,20: geringfügige Übereinstimmung
- K 0,21-0,40: ausreichende Übereinstimmung
- K 0,41-0,60: moderate Übereinstimmung
- K 0,61-0,80: substantielle Übereinstimmung
- K 0,81-1,00: nahezu vollständige Übereinstimmung

Da die Bewertungskategorien ordinales Messniveau besitzen, wurde der gewichtete Kappa-Koeffizient  $\kappa_w$  berechnet. Er berücksichtigt, dass eine Abweichung um eine Kategorie (z.B. statt ICDAS Code 1 - ICDAS Code 2) geringer wiegt, als eine Abweichung um mehrere Kategorien (statt ICDAS Code 2 - ICDAS Code 6).

Abweichungen in benachbarte Kategorien weist man geringere Gewichte, starken Abweichungen große Gewichte zu.

Die ausgeprägte Abweichung resultiert in größeren Gewichten und damit einem geringeren Kappa-Koeffizienten und damit einer geringeren Übereinstimmung.

Für diese Studie wurde eine lineare Gewichtung und das Programm MedCalc Version 12.4.0 verwendet.

*Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman*

Um die Korrelation der untersuchten diagnostischen Verfahren zu ermitteln, wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman  $r_s$  berechnet.

Die möglichen Werte liegen zwischen -1 und +1.

Negative Werte deuten auf einen gegenläufigen Zusammenhang hin, während positive Werte nahe +1 für eine ausgeprägte Korrelation stehen.

Die Rangkorrelationskoeffizienten  $r_s$  wurden mittels Kriterien von Ricketts et al. [1998] beurteilt (s. Intra-Klassen-Korrelation).

*Sensitivität und Spezifität*

Unter der Sensitivität eines Diagnoseverfahrens versteht man die Wahrscheinlichkeit bei einer Stichprobe erkrankte Personen im kranken Patientengut auch als krank zu identifizieren. Es wird das Verhältnis der korrekterweise positiv diagnostizierten Fälle zur Anzahl aller Erkrankten errechnet [Zöfel 2002], auch Richtig-Positiv-Rate genannt.

Die Formel zur Berechnung der Sensitivität lautet:

$$\text{Sensitivität [\%]} = 100 \times \frac{\text{richtig positiv}}{\text{richtig positiv} + \text{falsch negativ}}$$

Möchte man eine Erkrankung mit hoher Wahrscheinlichkeit ausschließen, ist eine möglichst hohe Sensitivität anzustreben.

Unter der Spezifität eines Diagnoseverfahrens versteht man die Wahrscheinlichkeit bei einer Stichprobe in einem gesunden Patientengut, gesunde Personen auch als nicht erkrankt zu erkennen.

Es wird der prozentuale Anteil an korrekt negativen Diagnosen im Verhältnis zur Gesamtzahl der Gesunden gesetzt [Zöfel 2002], auch Richtig-Negativ-Rate genannt.

Die Formel zur Berechnung der Spezifität lautet:

$$\text{Spezifität [\%]} = 100 \times \frac{\text{richtig negativ}}{\text{richtig negativ} + \text{falsch positiv}}$$

Möchte man eine Erkrankung mit hoher Wahrscheinlichkeit erkennen, ist eine möglichst hohe Spezifität anzustreben.

### *Receiver Operating Characteristic Curves (ROC-Kurven)*

Bei der ROC-Kurven-Analyse handelt es sich um eine Methode, die ermittelt, ob ein Diagnoseverfahren geeignet ist zwischen zwei Gesundheitszuständen zu unterscheiden.

Dazu werden die Werte für Sensitivität und Spezifität grafisch in Form einer Kurve dargestellt, wobei die Falschpositivrate (1 minus Spezifität) entlang der X-Achse und die Sensitivität entlang der Y-Achse aufgetragen werden. Bei einem idealen Testverfahren steigt die Kurve direkt zu Beginn sehr stark an, sodass bei hoher Sensitivität kaum falschpositive Testergebnisse vorliegen.

Um die Qualität des Diagnoseverfahrens zu bestimmen, wird anschließend die unter der Kurve bestehende Fläche (Area under Curve, AUC) berechnet. Die berechnete Zahl kann zwischen 0 und 1 liegen.

Verläuft die ROC-Kurve nahe der Diagonalen, ist von einem zufälligen Zusammenhang auszugehen. Die AUC läge in dem Fall bei 0,5. Ist die diagnostische Güte des Verfahrens hoch, liegt der Wert bei nahezu 1.

Es wurde ein Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  festgesetzt.

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Verteilung der Diagnosen für die Untersuchung an extrahierten Zähnen

Die visuelle Untersuchung der extrahierten Zähne wurde nach den Kriterien des ICDAS für okklusale Karies (Tab. 3) durchgeführt. Befundet wurden 166 Messpunkte auf 94 Zähnen durch die zwei beruflich erfahrenen als auch in der Anwendung des ICDAS routinierten Untersucher 1 (U1) und Untersucher 2 (U2).

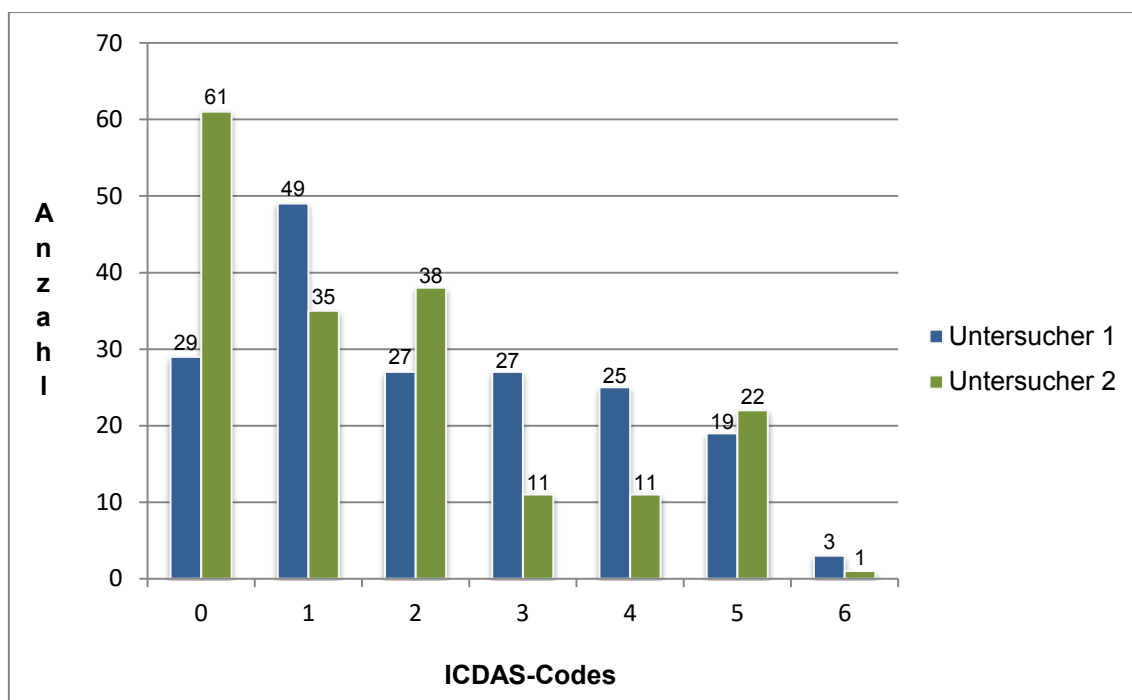


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Karies mittels ICDAS-Diagnostik am extrahierten Zahnsatz durch Untersucher 1 und Untersucher 2.

Nach fünfsekündiger Lufttrocknung wiesen 17,2% (U1) bzw. 36,1% (U2) der Messpunkte keine sichtbare Veränderung im Zahnschmelz auf (ICDAS Code 0). 29,0% (U1) bzw. 20,7% (U2) der Messpunkte zeigten nach fünfsekündiger Trocknung erste Anzeichen für eine beginnende Schmelzkaries (ICDAS Code 1). Bei 16,0% (U1) bzw. 22,5% (U2) waren bereits am feuchten Zahn Veränderungen des Zahnschmelzes visuell erfassbar (ICDAS Code 2). Einen Verlust der Schmelzstruktur detektierten die Untersucher zu 16,0% (U1) bzw.

6,5% (U2) der Messpunkte (ICDAS Code 3). 14,8% (U1) bzw. 6,5% (U2) der Messpunkte zeigten eine Schattenbildung im Dentin (ICDAS Code 4). Eine deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin lag bei 11,2% (U1) bzw. 13,0% (U2) der Messpunkte vor (ICDAS Code 5). Eine großflächige Kavität wurde lediglich bei 1,8% (U1) bzw. 0,6% (U2) der Messpunkte detektiert (ICDAS Code 6).

## 6.2 Verteilung der Diagnosen für die Untersuchung an digitalen Abbildungen

Befundet wurden 166 Messpunkte auf 94 digitalen Aufnahmen der Okklusalfächen des gereinigten Zahnsatzes nach den ICDAS-Kriterien für okklusale Karies (Tab. 3). Zwei der Untersucher waren ICDAS-erfahrene Zahnärzte (Untersucher 1 und Untersucher 2), ein Untersucher war praxiserfahrener Zahnarzt (Untersucher 3) und ein Untersucher eine in ICDAS geschulte Studentin im klinischen Abschnitt (Untersucher 4).

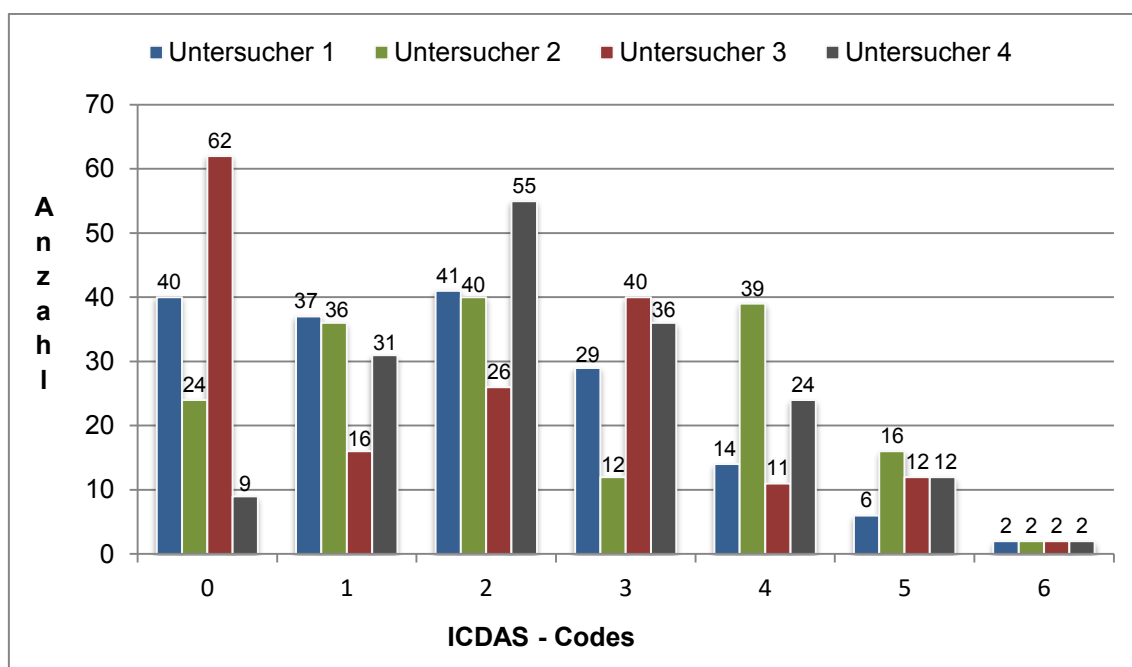


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Karies mittels ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen durch Untersucher 1, Untersucher 2, Untersucher 3 und Untersucher 4.

Bei der Kariesdetektion an digitalen Abbildungen wurden 20% der Messpunkte von den vier Untersuchern als gesund und ohne Veränderung im Schmelz beurteilt (ICDAS Code 0). Für eine Veränderung des Zahnschmelzes, die am feuchten Zahn nicht sichtbar gewesen wäre, entschieden sich die vier Untersucher bei 17,8% der Messpunkte (ICDAS Code 1). Eine Veränderung des Zahnschmelzes, die bereits am feuchten Zahn sichtbar gewesen wäre, detektierten U1, U2, U3 und U4 an 24,0% der Messpunkte (ICDAS Code 2). Eine Schmelzdiskontinuität wiesen 17,3% der Messpunkte auf (ICDAS Code 3). 13,0% der Messpunkte klassifizierten die vier Untersucher als Bereiche mit Schattenbildung im Dentin (ICDAS Code 4). Eine deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin zeigten 6,8% der Messpunkte (ICDAS Code 5). Eine sehr großflächige Kavität detektierten die vier Untersucher bei 1,2% der Messpunkte.

### 6.3 Reproduzierbarkeit der ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen

#### 6.3.1 Intrarater-Reliabilität

Um die Konstanz der Untersucher bei der Befundung der extrahierten Zähne nach ICDAS-Kriterien zu überprüfen, wurden die Kappawerte mit einfacher, linearer Gewichtung berechnet.

Alle Messpunkte am extrahierten Zahnsatz wurden in 3-wöchigem Abstand von Untersucher 1 und Untersucher 2 zweimal befundet.

*Tabelle 5: Intrarater-Reproduzierbarkeit von Untersucher 1 und Untersucher 2 bei der Befundung extrahierter Zähne nach ICDAS-Kriterien.*

	<b>Gewichteter Kappa <math>\kappa_w</math></b>	<b>95% Konfidenzintervall</b>
<b>Untersucher 1</b>	0,84	0,79-0,89
<b>Untersucher 2</b>	0,73	0,66-0,80

Die Beurteilung der ermittelten Kappa-Werte nach den Kriterien von Landis und Koch [1977] ergibt für Untersucher 2 eine *substantielle Übereinstimmung*. Für Untersucher 1, der an der Entwicklung ICDAS mitgewirkt hat und als ICDAS-

Trainer für Untersucher 4 fungierte, ergibt sich eine *nahezu vollständige Übereinstimmung*.

### 6.3.2 Interrater-Reliabilität

Zur Berechnung der Interrater-Reproduzierbarkeit zwischen Untersucher 1 und Untersucher 2 wurde ebenfalls der gewichtete Kappa nach Cohen berechnet, da dieser Diskordanzen in benachbarte und nichtbenachbarte Kategorien unterschiedlich gewichtet (s. Kapitel 4.4).

*Tabelle 6: Interrater-Reliabilität von Untersucher 1 und Untersucher 2 bei der Befundung extrahierter Zähne nach ICDAS-Kriterien.*

Gewichteter Kappa $\kappa_w$	95% Konfidenzintervall
0,62	0,54-0,69

Nach Landis und Koch [1977] ist die Interrater-Übereinstimmung als *substantiell* zu bezeichnen.



## 6.4 Reproduzierbarkeit der ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen

### 6.4.1 Intrarater-Reliabilität

Um die Konkordanz der zweimaligen ICDAS-Befundungen digitaler Abbildungen durch den jeweiligen Untersucher zu überprüfen, wurden die Kappawerte nach Cohen mit einfacher linearer Gewichtung berechnet.

Die Fotografien wurde durch Untersucher 1, Untersucher 2, Untersucher 3 und Untersucher 4 unabhängig voneinander jeweils zwei Mal in dreiwöchigem Abstand befundet.

Tabelle 7: Jeweilige Intrarater-Reliabilität der Untersucher 1, Untersucher 2, Untersucher 3 und Untersucher 4

	Gewichteter Kappa $\kappa_w$	95% Konfidenzintervall
<b>Untersucher 1</b>	0,74	0,67-0,81
<b>Untersucher 2</b>	0,63	0,56-0,71
<b>Untersucher 3</b>	0,58	0,50-0,67
<b>Untersucher 4</b>	0,73	0,66-0,80

Die berechneten Kappa-Werte liegen zwischen 0,58 und 0,74. Nach der Einteilung von Landis und Koch [1977] ergibt sich für Untersucher 1, Untersucher 2 und Untersucher 4 eine *substantielle Übereinstimmung*, für Untersucher 3 liegt der gewichtete Kappa im Bereich einer *moderaten Übereinstimmung*. Untersucher 3 ist der in ICDAS ungeübteste Untersucher.

### 6.4.2 Interrater-Reliabilität

Zur Berechnung der Konkordanz zwischen den verschiedenen Untersuchern bei Befundung der digitalen Abbildungen nach den ICDAS-Regeln für okklusale Karies wurde der gewichtete Kappa nach Cohen [1968] berechnet.

*Tabelle 8: Interrater-Reliabilität zwischen den Untersuchern 1, 2, 3 und 4 bei Befundung digitaler Abbildung nach ICDAS-Kriterien. Linear gewichteter Kappa, zugehöriges 95% Konfidenzintervall jeweils in Klammern.*

	Untersucher 1	Untersucher 2	Untersucher 3	Untersucher 4
Untersucher 1		0,54 (0,46-0,62)	0,41 (0,32-0,50)	0,43 (0,35-0,52)
Untersucher 2			0,49 (0,40 – 0,58)	0,60 (0,53-0,69)
Untersucher 3				0,43 (0,34-0,52)

Die berechneten gewichteten Kappawerte variieren zwischen 0,41 und 0,60. Die Übereinstimmung unter den vier Untersuchern ist nach der Einteilung von Landis und Koch [1977] als *moderat* zu werten.

### 6.5 Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman $r_s$

Die nachfolgende Tabelle zeigt den untersucherspezifischen Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman  $r_s$  für die ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen im Vergleich zur Histologie und den untersucherspezifischen  $r_s$  für die ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen im Vergleich zur Histologie. Die histologische Auswertung gilt dabei als Goldstandard.

Die Korrelationen sind statistisch signifikant ( $p \leq 0,01$ , zweiseitige Testung).

Tabelle 9: Rangkorrelationskoeffizienten der ICDAS-Diagnostiken im Vergleich zur Histologie.

	Unters. 1	Unters. 2	Unters. 3	Unters. 4
<b>ICDAS-D. ex. Zähne vs. Histo</b>	0,60	0,56	/	/
<b>ICDAS-D. dig. Abb. vs. Histo</b>	0,58	0,63	0,50	0,56

Anhand der Werte wird deutlich, dass die Untersuchung am extrahierten Zahn mit der Histologie nach Ricketts et al. [1998] *moderat* korreliert, eine ebenfalls *moderate* Korrelation liegt zwischen der Befundung digitaler Abbildung und der Histologie vor.

## 6.6 Kreuztabellen

Um die Zusammenhänge zwischen der ICDAS-Diagnostik am extrahierten Zahn/ an der digitalen Abbildung und der Histologie zu verdeutlichen, werden die Häufigkeitsverteilungen der jeweiligen Scores dieser Studie in Form von Kreuztabellen dargestellt.

*Tabelle 10: Häufigkeitsverteilung von ICDAS-Diagnostik am extrahierten Zahn und Histologie für Untersucher 1.*

Histo (Downer)	ICDAS							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	18	17	5	2	4	1	0	47
1	5	11	7	2	3	1	0	29
2	2	13	4	9	1	0	1	30
3	1	5	9	13	8	12	1	49
4	0	0	1	1	6	5	1	14
n	26	46	26	27	22	19	3	169

$\chi^2$ : 96,96  
 Signifikanzniveau:  $P < 0,0001$

Tabelle 11 zeigt, dass 69,23% der Messpunkte (18 von 26), die von Untersucher 1 am extrahierten Zahn mit ICDAS Code 0 befundet wurden, histologisch ebenfalls gesund waren (Downer: 0). Die entsprechenden Messpunkte sind grün markiert.

Bei 48,61% der Messpunkte (35 von 72), die von Untersucher 1 am extrahierten Zahn als ICDAS Code 1 oder Code 2 befundet wurden, also keine Diskontinuität der Schmelzoberfläche und/oder keine Schattenbildung im Dentin aufwiesen, zeigten auch histologisch eine Schmelzläsion ohne Dentinbeteiligung (Histologie n. Downer Grad 1 und Grad 2). Die entsprechenden Messpunkte sind orange markiert.

66,20% der Messpunkte (47 von 71), die gemäß Untersucher 1 am extrahierten Zahn eine Schmelzdiskontinuität/ eine Schattenbildung im Dentin/ freiliegendes, sichtbares Dentin aufwiesen (ICDAS Code 3-6), zeigten ebenfalls in den

Zahnhartschnitten, befundet nach den Kriterien von Downer eine Dentinläsion (Downer Code 3-4). Die entsprechenden Messpunkte sind rot markiert.

*Tabelle 11: Häufigkeitsverteilung von ICDAS-Diagnostik am extrahierten Zahn und Histologie für Untersucher 2.*

Histo (Downer)	ICDAS							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	25	9	8	2	2	1	0	47
1	15	7	5	1	0	1	0	29
2	14	6	7	2	0	1	0	30
3	1	10	16	5	4	13	0	49
4	0	1	1	0	5	6	1	14
n	55	33	37	10	11	22	1	169

$\chi^2$ : 102,28

Signifikanzniveau:  $P < 0,0001$

Tabelle 12 zeigt, dass 45,45% der Messpunkte (25 von 55), die Untersucher 2 am extrahierten Zahn als ICDAS Code 0 befundet hatte, auch histologisch gesund waren (Downer: 0). Die entsprechenden Messpunkte sind grün markiert.

35,71% der Messpunkte (25 von 70), die Untersucher 2 am extrahierten Zahn als Schmelzläsion ohne Diskontinuität der Schmelzoberfläche oder Schattenbildung im Dentin eingestuft hatte (ICDAS Code 1 und 2), erwiesen sich auch in der histologischen Befundung als Schmelzläsion ohne Dentinbeteiligung (Downer: 1 und 2). Die entsprechenden Messpunkte sind orange markiert.

77,27% der Messpunkte (34 von 44), die Untersucher 2 am extrahierten Zahn als Läsion mit Diskontinuität der Schmelzoberfläche/ Schattenbildung im Dentin/ sichtbarer Dentinfläche (ICDAS Code 3-6) eingestuft hatte, zeigten auch in der histologischen Untersuchung eine Läsion mit Dentinbeteiligung (Downer: 3 und 4). Die entsprechenden Messpunkte sind rot markiert.

## Ergebnisse

Tabelle 12: Häufigkeitsverteilung von ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen und Histologie für Untersucher 1.

Histo (Downer)	ICDAS							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	23	13	6	2	2	1	0	47
1	10	7	10	1	1	0	0	29
2	5	8	11	5	0	0	1	30
3	2	8	12	19	7	1	0	49
4	0	1	2	2	4	4	1	14
n	40	37	41	29	14	6	2	169

$\chi^2$ : 104,13

Signifikanzniveau:  $P < 0,0001$

Tabelle 13 zeigt, dass 57,50% der Messpunkte (23 von 40), die Untersucher 1 bei Befunden der digitalen Abbildung als ICDAS Code 0 eingestuft hatte, auch histologisch gesund waren (Downer: 0). Die entsprechenden Messpunkte sind grün markiert.

46,15% der Messpunkte (36 von 78), die Untersucher 1 an digitalen Abbildungen als Schmelzläsion ohne Dentinbeteiligung gewertet hatte (ICDAS Code 1 und 2), zeigten auch in der histologischen Klassifikation nach Downer (Downer 1 und 2) eine ausschließlich auf den Zahnschmelz begrenzte Karies. Die entsprechenden Messpunkte sind orange markiert.

74,51% der Messpunkte (38 von 51), die Untersucher 1 an den digitalen Abbildungen als Läsion mit Schmelzdiskontinuität/ Schattenbildung im Dentin/ freiliegendem, sichtbaren Dentin klassifiziert wurden (ICDAS Code 3-6), zeigten auch in der Histologie eine Karies mit Dentinbildung (Downer 3 und 4). Die entsprechenden Messpunkte sind rot markiert.

## Ergebnisse

Tabelle 13: Häufigkeitsverteilung von ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen und Histologie für Untersucher 2.

Histo (Downer)	ICDAS							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	18	16	8	1	3	1	0	47
1	2	10	10	4	3	0	0	29
2	2	4	15	2	5	1	1	30
3	2	6	6	5	20	10	0	49
4	0	0	1	0	8	4	1	14
n	24	36	40	12	39	16	2	169

$\chi^2$ : 106,31

Signifikanzniveau:  $P < 0,0001$

Tabelle 14 zeigt, dass 75,00% aller Messpunkte (18 von 24), die von Untersucher 2 bei Befundung der digitalen Abbildungen als ICDAS Code 0 eingestuft wurden, auch histologisch gesund waren (Downer: 0). Die entsprechenden Messpunkte sind grün markiert.

51,32% der Messpunkte (39 von 76), die Untersucher 2 an digitalen Abbildungen als Schmelzläsionen ohne Diskontinuität der Schmelzoberfläche oder Schattenbildung im Dentin eingestuft hatte (ICDAS Codes 1 und 2), zeigten auch im Zahnschliff eine ausschließlich auf den Schmelz begrenzte Karies (Downer: 1 und 2). Die entsprechenden Messpunkte sind orange markiert.

69,57% der Messpunkte (48 von 69), die von Untersucher 2 an digitalen Abbildungen als Läsion mit Diskontinuität der Schmelzoberfläche/ Schattenbildung im Dentin/ freiliegendem, sichtbarem Zahnbein (ICDAS Code 3-6) klassifiziert wurden, zeigten auch in der histologischen Untersuchung eine Karies mit Dentinbeteiligung (Downer: 3 und 4). Die entsprechenden Messpunkte sind rot markiert.

## Ergebnisse

Tabelle 14: Häufigkeitsverteilung von ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen und Histologie für Untersucher 3.

Histo (Downer)	ICDAS							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	30	5	6	5	0	1	0	47
1	10	4	9	4	2	0	0	29
2	9	6	6	8	0	0	1	30
3	12	0	4	21	4	8	0	49
4	1	1	1	2	5	3	1	14
n	62	16	26	40	11	12	2	169

$\chi^2$ : 90,55

Signifikanzniveau:  $P < 0,0001$

Tabelle 15 zeigt, dass 48,39% der Messpunkte (30 von 62), die Untersucher 3 bei der Befundung digitaler Abbildungen als gesund (ICDAS Code 0) eingestuft hatte auch histologisch gesund waren (Downer: 0). Die entsprechenden Messpunkte sind grün markiert.

59,52% der Messpunkte (25 von 42), die von Untersucher 3 auf den digitalen Abbildungen als Schmelzläsion ohne Schmelzeinbruch/ ohne Dentinschattenbildung (ICDAS Code 1 und 2) bezeichnet wurden, zeigten auch in der Histologie eine auf den Schmelz begrenzte Läsion (Downer: 1 und 2). Die entsprechenden Messpunkte sind orange markiert.

67,69% der Messpunkte (44 von 65), die von Untersucher 3 an digitalen Abbildungen als Karies mit Diskontinuität der Schmelzoberfläche/ Schattenbildung im Dentin/ freiliegendem, sichtbaren Zahnbein (ICDAS Code 3-6) eingestuft wurden, zeigten auch in den histologischen Zahnhartschnitten eine Dentinbeteiligung (Downer: 3 und 4). Die entsprechenden Messpunkte sind rot markiert.



## Ergebnisse

Tabelle 15: Häufigkeitsverteilung von ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen und Histologie für Untersucher 4.

Histo (Downer)	ICDAS							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	8	14	17	4	3	1	0	47
1	1	8	14	4	2	0	0	29
2	0	5	12	10	2	0	1	30
3	0	4	10	15	13	7	0	49
4	0	0	2	3	4	4	1	14
n	9	31	55	36	24	12	2	169

$\chi^2$ : 70,20

Signifikanzniveau:  $P < 0,0001$

Tabelle 16 zeigt, dass 88,89% der Messpunkte (8 von 9), die Untersucher 4 an digitalen Abbildungen als ICDAS Code 0, also gesund, einstufte, auch in der histologischen Untersuchungen einen gesunden Zahn zeigten (Downer: 0). Die entsprechenden Messpunkte sind grün markiert.

45,35% der Messpunkte (39 von 86), die Untersucher 4 an digitalen Abbildungen als Schmelzläsion ohne Diskontinuität der Schmelzoberfläche/ Schattenbildung im Dentin befundete (ICDAS Code 1 und 2), zeigten auch im histologischen Bild eine auf den Schmelz begrenzte Karies ohne Dentinbeteiligung (Downer: 1 und 2). Die entsprechenden Messpunkte sind orange markiert.

63,51% der Messpunkte (47 von 74), die Untersucher 4 an digitalen Abbildungen als Läsion mit Dentinbeteiligung einstufte (ICDAS Code 3-6), wiesen auch in der histologischen Untersuchung eine Dentinbeteiligung auf (Downer: 3 und 4). Die entsprechenden Messpunkte sind rot markiert.

## **6.7 Spezifität und Sensitivität, ROC-Kurven**

Sowohl für die ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen, als auch für die ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen wurde die Spezifität und Sensitivität berechnet und auf Grundlage dieser Werte Receiver-Operating-Characteristic-Kurven (ROC-Kurven) gezeichnet. Goldstandard stellt dabei die Histologie mit der Klassifizierung nach Downer [1975] dar.

Bei der Ermittlung der Werte wurden zwei verschiedene Niveaus berücksichtigt:

Histo-Downer D1 Niveau: auf dem D1-Niveau wird ausschließlich in gesund (Downer: 0) und krank (Downer: 1-4) unterteilt. Eine mögliche Mitbeteiligung des Dentins an einer Läsion wird nicht gesondert bewertet. Für die ICDAS-Klassifikation ergibt sich dementsprechend: gesund (ICDAS: 0) und krank (ICDAS: 1-6)

Histo-Downer D3 Niveau: auf D3-Niveau besteht die Fragestellung im Vorhandensein einer Dentinkaries. Daraus ergibt sich die Unterteilung: keine Dentinbeteiligung vorhanden (Downer: 0-2; ICDAS: 0-2), Dentinbeteiligung vorhanden (Downer: 3-4, ICDAS: 3-6).

In den jeweiligen den ROC-Kurven zugehörigen Tabellen finden sich die Werte für Sensitivität, Spezifität, die Summe aus Spezifität und Sensitivität, das 95%-Konfidenzintervall, der Standardfehler und die Area under the Curve (AUC).

### 6.7.1 Sensitivität und Spezifität der ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen

#### Untersucher 1

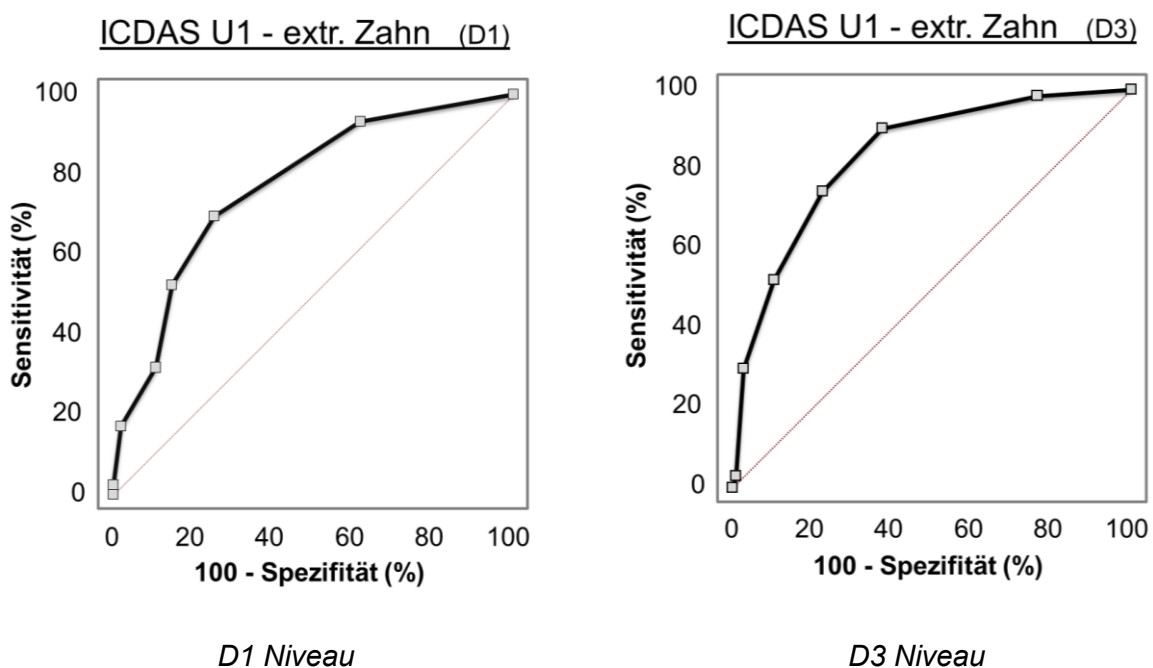


Abbildung 5: ROC-Kurven für die ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen auf D1-Niveau (links) und D3-Niveau (rechts) für Untersucher 1.

Tabelle 16: ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen. Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley & McNeil [1982] (SE), Sensitivität in % (Sens.), Spezifität in % (Spez.), Summe aus Sensitivität und Spezifität (%) auf D1-Niveau und D3-Niveau für Untersucher 1.

	AUC	95%-KI	SE	Sens. (%)	Spez. (%)	$\sum Sn + Sp$ (%)
<b>D1-Niveau*</b>	0,77	0,70-0,83	0,04	93,4	38,3	131,7
<b>D3-Niveau**</b>	0,84	0,77-0,89	0,03	74,60	77,36	152,0

\*Downer 0 / Downer 1-4

\*\*Downer 0-2 / Downer 3 -4

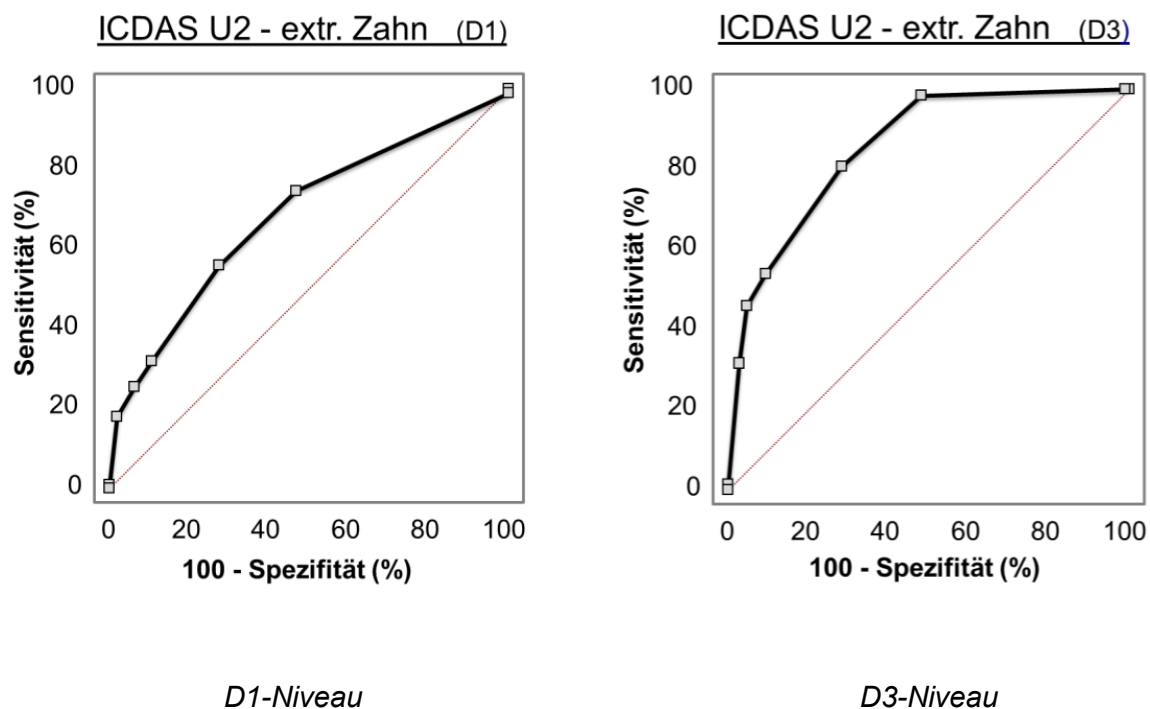
**Untersucher 2**

Abbildung 6: ROC-Kurven für die ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen auf D1-Niveau (links) und D3-Niveau (rechts) für Untersucher 2.

Tabelle 17: ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen. Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley & McNeil [1982] (SE), Sensitivität in % (Sens.), Spezifität in % (Spez.), Summe aus Sensitivität und Spezifität (%) auf D1-Niveau und D3-Niveau für Untersucher 2.

	<b>AUC</b>	<b>95%-KI</b>	<b>SE</b>	<b>Sens. (%)</b>	<b>Spez. (%)</b>	<b><math>\sum Sn + Sp</math> (%)</b>
<b>D1-Niveau*</b>	0,69	0,61-0,75	0,04	74,6	53,2	127,8
<b>D3-Niveau**</b>	0,86	0,79-0,91	0,03	54,0	90,6	144,6

\*Downer 0 / Downer 1-4

\*\*Downer 0-2 / Downer 3 -4

## 6.7.2 Sensitivität und Spezifität der ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen

### Untersucher 1

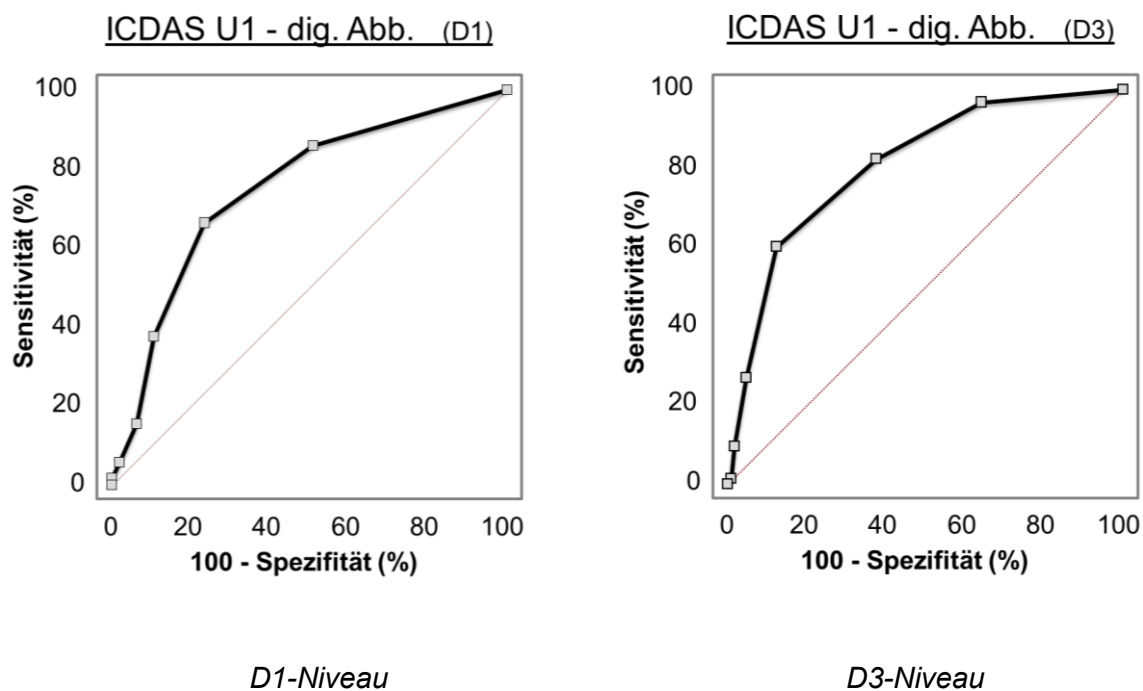


Abbildung 7: ROC-Kurven für die ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen auf D1-Niveau (links) und D3-Niveau (rechts) für Untersucher 1.

Tabelle 18: ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen. Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley & McNeil [1982] (SE), Sensitivität in % (Sens.), Spezifität in % (Spez.), Summe aus Sensitivität und Spezifität (%) auf D1-Niveau und D3-Niveau für Untersucher 1.

	AUC	95%-KI	SE	Sens. (%)	Spez. (%)	$\sum Sn + Sp$ (%)
<b>D1-Niveau*</b>	0,75	0,68-0,81	0,04	86,1	48,9	135
<b>D3-Niveau**</b>	0,81	0,74-0,87	0,03	60,3	87,7	148

\*Downer 0 / Downer 1-4

\*\*Downer 0-2 / Downer 3 -4

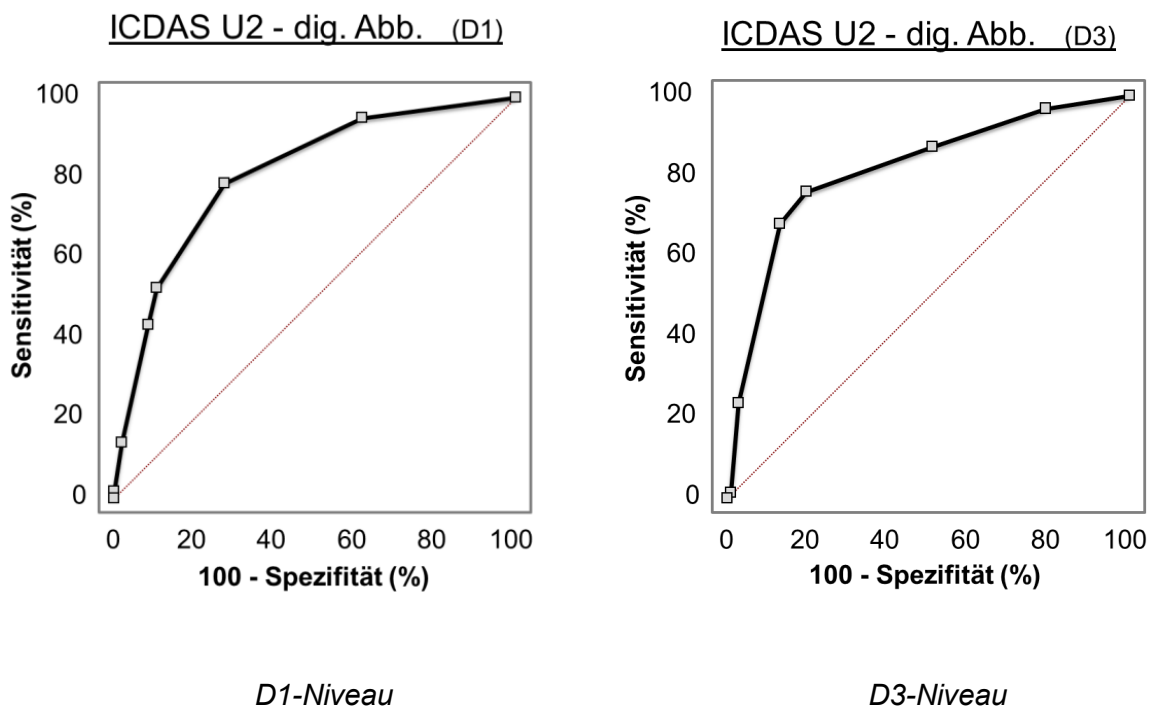
**Untersucher 2**

Abbildung 8: ROC-Kurven für die ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen auf D1-Niveau (links) und D3-Niveau (rechts) für Untersucher 2.

Tabelle 19: ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen. Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley & McNeil [1982] (SE), Sensitivität in % (Sens.), Spezifität in % (Spez.), Summe aus Sensitivität und Spezifität (%) auf D1-Niveau und D3-Niveau für Untersucher 2.

	AUC	95%-KI	SE	Sens. (%)	Spez. (%)	$\sum Sn + Sp$ (%)
<b>D1-Niveau*</b>	0,81	0,74-0,87	0,04	95,1	38,3	133,4
<b>D3-Niveau**</b>	0,82	0,75-0,87	0,04	76,2	80,2	156,4

\*Downer 0 / Downer 1-4

\*\*Downer 0-2 / Downer 3 -4

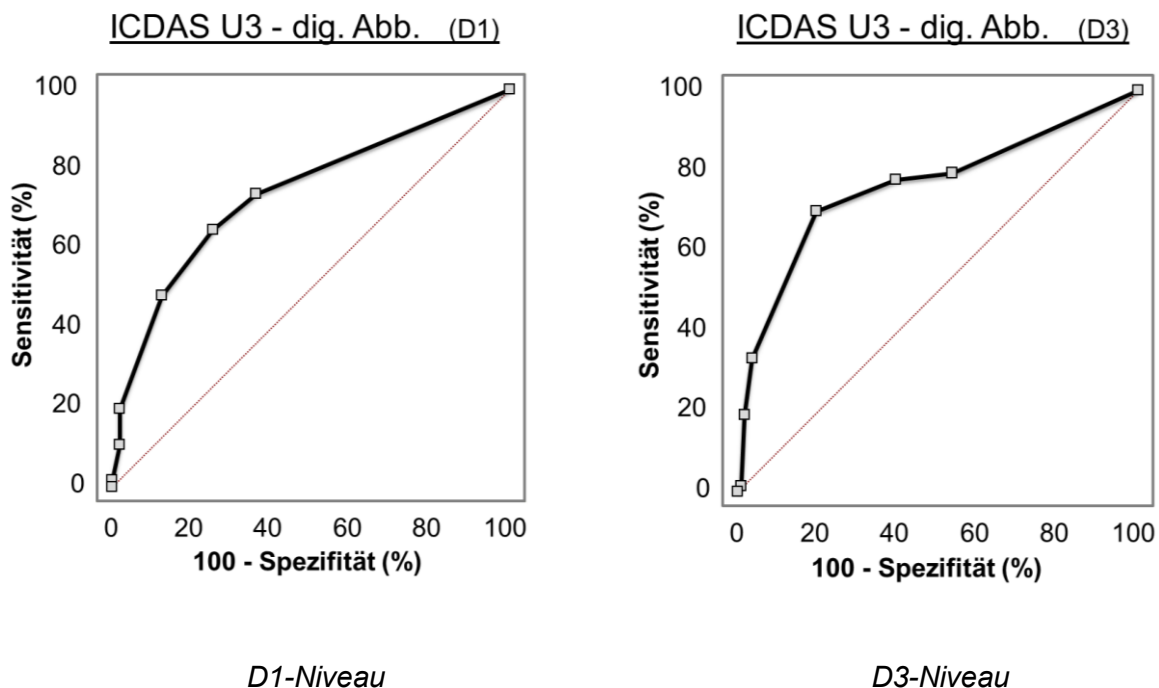
**Untersucher 3**

Abbildung 9: ROC-Kurven für die ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen auf D1-Niveau (links) und D3-Niveau (rechts) für Untersucher 3.

Tabelle 20: ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen. Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley & McNeil [1982] (SE), Sensitivität in % (Sens.), Spezifität in % (Spez.), Summe aus Sensitivität und Spezifität (%) auf D1-Niveau und D3-Niveau für Untersucher 3.

	AUC	95%-KI	SE	Sens. (%)	Spez. (%)	$\sum Sn + Sp$ (%)
<b>D1-Niveau*</b>	0,74	0,67-0,80	0,04	73,8	63,8	137,6
<b>D3-Niveau**</b>	0,76	0,69-0,82	0,04	69,4	80,2	149,6

\*Downer 0 / Downer 1-4

\*\*Downer 0-2 / Downer 3 -4

## Untersucher 4

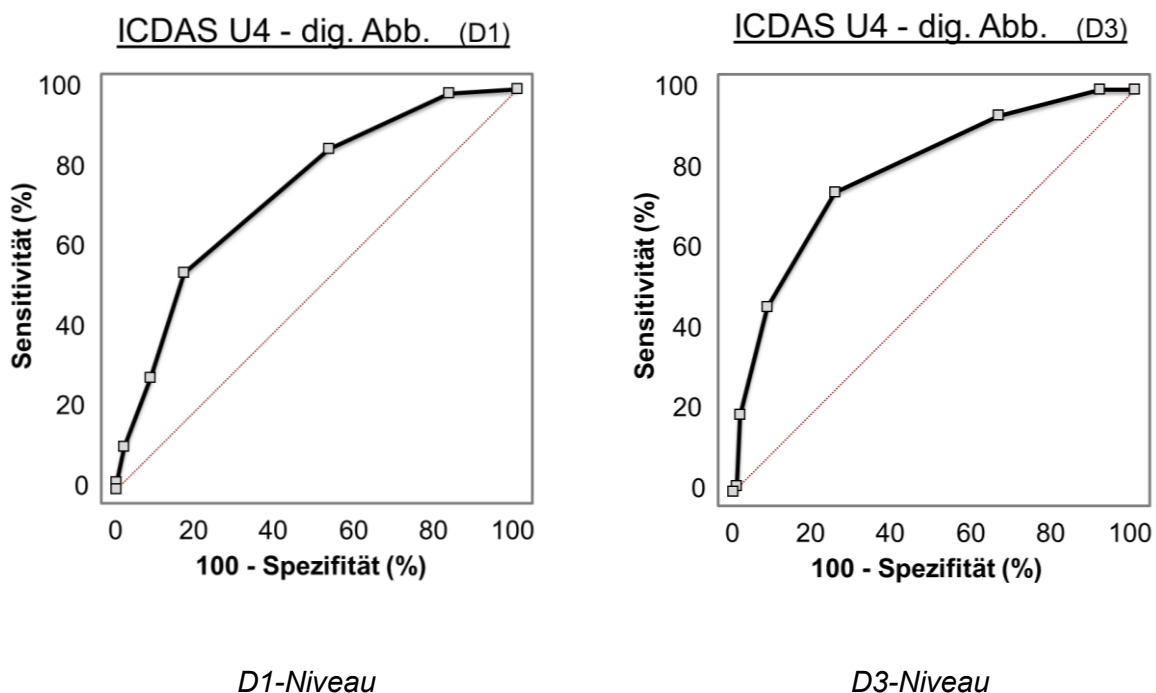


Abbildung 10: ROC-Kurven für die ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen auf D1-Niveau (links) und D3-Niveau (rechts) für Untersucher 4.

Tabelle 21: ICDAS-Diagnostik an digitalen Abbildungen. Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley & McNeil [1982] (SE), Sensitivität in % (Sens.), Spezifität in % (Spez.), Summe aus Sensitivität und Spezifität (%) auf D1-Niveau und D3-Niveau für Untersucher 4.

	AUC	95%-KI	SE	Sens. (%)	Spez. (%)	$\sum Se + Sp$ (%)
<b>D1-Niveau*</b>	0,75	0,67-0,81	0,04	99,2	17,0	116,2
<b>D3-Niveau**</b>	0,80	0,73-0,86	0,04	74,6	74,5	149,1

\*Downer 0 / Downer 1-4

\*\*Downer 0-2 / Downer 3 -4



## 6.8 ROC-Kurven-Vergleich

Die diagnostische Güte der ICDAS-Untersuchung am extrahierten Zahn wurde mit der diagnostischen Güte der ICDAS-Untersuchung an digitalen Abbildungen verglichen. Die ROC-Kurven der beiden Untersuchungsverfahren wurden in einer gemeinsamen Grafik untersucherbezogen dargestellt (Abb. 11, Abb.12, Abb. 13, Abb. 14). Die Untersuchung fand dabei auf Downer-D1-Niveau und Downer D3-Niveau statt.

### Untersucher 1

ROC-Vergleich: Zahn vs. digitale Abbildung (D1)

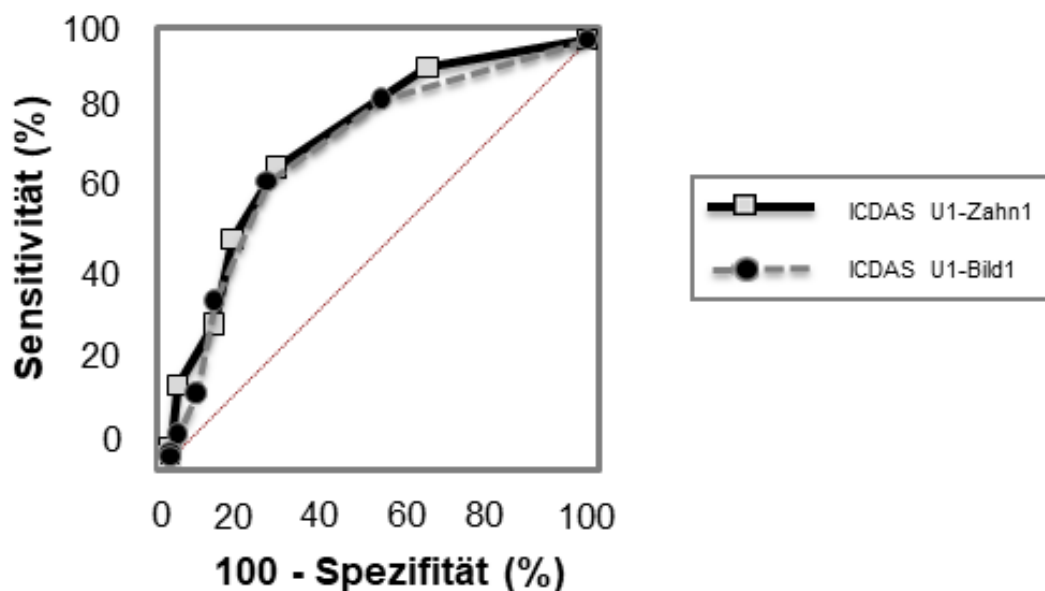


Abbildung 11: ROC-Kurven Vergleich der ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen und digitalen Abbildungen auf Downer D1-Niveau für Untersucher 1.

## ROC-Vergleich: Zahn vs. digitale Abbildung (D3)

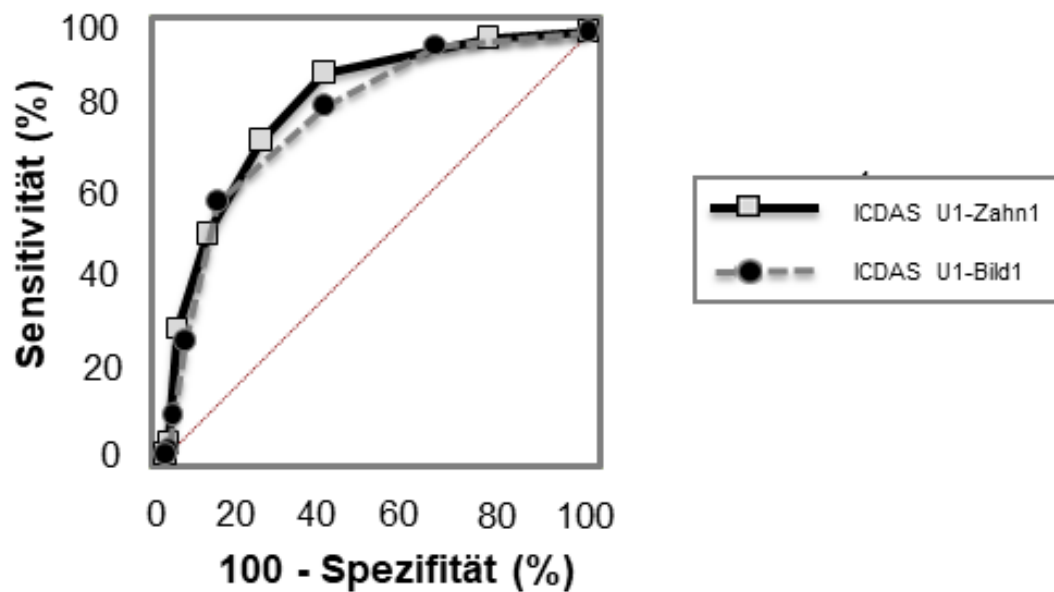


Abbildung 12: ROC-Kurven Vergleich der ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen und digitalen Abbildungen auf Downer D3-Niveau für Untersucher 1.

Tabelle 22: Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley & McNeil [1982] (SE), und Signifikanzniveau (p-Wert) für Untersucher 1.

	AUC	95%-KI	SE	p-Wert
<b>D1: U1-Zahn</b>	0,77	0,70-0,83	0,04	
				0,56
<b>D1: U1-Bild</b>	0,75	0,68-0,81	0,04	
<b>D3: U1-Zahn</b>	0,84	0,77-0,89	0,03	
				0,43
<b>D3: U1-Bild</b>	0,81	0,74-0,87	0,03	

Der Unterschied zwischen der diagnostischen Güte der Untersuchung am extrahierten Zahn und der Untersuchung an digitalen Abbildungen ist auf Downer D1-Niveau und Downer D3-Niveau für Untersucher 1 statistisch nicht signifikant (Tabelle 22).

## Untersucher 2

### ROC-Vergleich: Zahn vs. digitale Abbildung (D1)

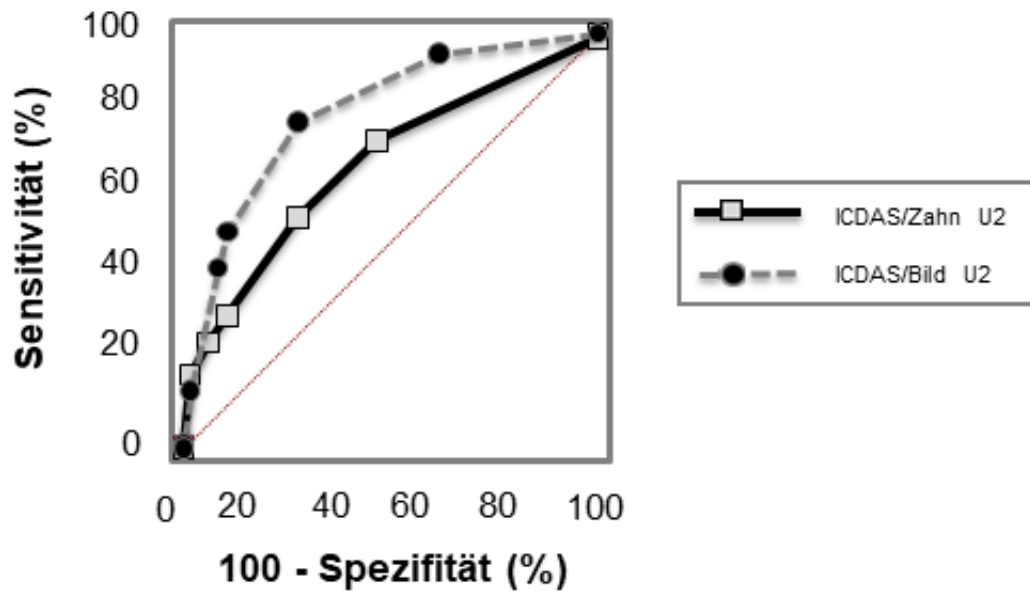


Abbildung 13: ROC-Kurven Vergleich der ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen und digitalen Abbildungen auf Downer D1-Niveau für Untersucher 2.

### ROC-Vergleich: Zahn vs. digitale Abbildung (D3)

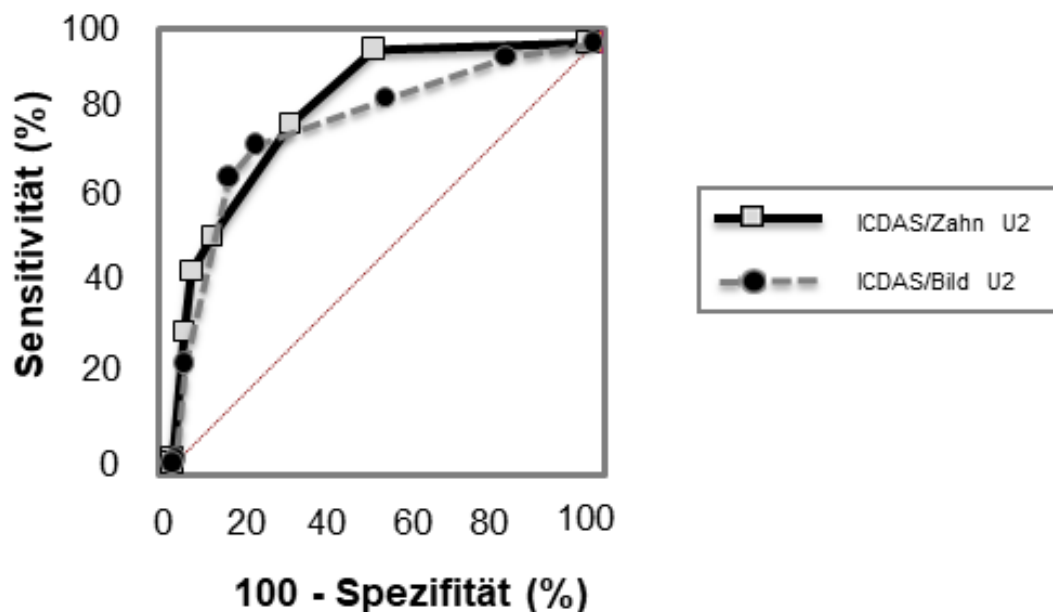


Abbildung 14: ROC-Kurven Vergleich der ICDAS-Diagnostik an extrahierten Zähnen und digitalen Abbildungen auf Downer D3-Niveau für Untersucher 2.

Tabelle 23: Area under the Curve (AUC), 95%-Konfidenzintervall (95%-KI), Standardfehler nach Hanley & McNeil [1982] (SE), und Signifikanzniveau (p-Wert) für Untersucher 2.

	AUC	95%-KI	SE	p-Wert
<b>D1: U2-Zahn</b>	0,69	0,61-0,75	0,04	0,0003
<b>D1: U2-Bild</b>	0,81	0,74-0,87	0,04	
<b>D3: U2-Zahn</b>	0,86	0,79-0,91	0,03	0,21
<b>D3: U2-Bild</b>	0,82	0,75-0,87	0,04	

Auf D1-Niveau zeigt sich für Untersucher 2 ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Befundung an digitalen Abbildungen und der Befundung an extrahierten Zähnen. Die größere Fläche unter der Kurve und damit die größere diagnostische Güte besteht bei der Untersuchung an digitalen Abbildungen (Tabelle 23).

Auf D3-Niveau besteht für Untersucher 2 kein statistisch signifikanter Unterschied in der Befundung digitaler Abbildung und extrahierter Zähne nach der ICDAS-Klassifikation.

Die Hypothese, dass sich die diagnostische Güte des ICDAS, ermittelt an extrahierten Zähnen und deren digitalen Abbildungen, nicht signifikant unterscheidet, kann für Untersucher 1 sowohl auf D1- als auch auf D3-Niveau angenommen werden, für Untersucher 2 bestätigt sie sich nur auf D3-Niveau. Auf D1-Niveau besteht ein signifikanter Unterschied in der diagnostischen Güte des ICDAS zugunsten der Anwendung an digitalen Abbildungen.

## **7 Diskussion**

### **7.1 Diskussion der Problemstellung**

Eine über die Jahrzehnte stetig sinkende Kariesprävalenz [Birkeland 1987, Splieth 2019] und die Erwartung einer kumulativ weiter sinkenden Karieserfahrung bis ins Jahr 2030 [Jordan 2019] betonen die zunehmende Notwendigkeit, Karies bereits im Frühstadium zu diagnostizieren und epidemiologisch zu erfassen.

Das Standardverfahren zur Kariesdiagnose stellt die visuelle Kariesdiagnostik dar [Pitts 2004]. Ekstrand et al. [1997] erklärten, dass die Anwendung präziserer, spezifischer visueller Diagnosekriterien zu einer besseren Detektion versteckter Karies führe. Auf diesen Überlegungen basierend wurde das International Caries Detection and Assessment System ICDAS entwickelt, welches auch nichtkavitierte Karies standardisiert erfasst [Ismail 2007].

Um ICDAS zu erlernen und korrekt anzuwenden muss die Anwendung trainiert werden. Geschieht dies mithilfe extrahierter Zähne, ergibt sich gerade bei größeren Gruppen zu trainierender Untersucher, wie etwa einem Studiensemester, ein großer Bedarf an extrahierten Zähnen.

In der Forschung ergibt sich bei überregionalen Studien und Multi-Center-Studien eine logistische Herausforderung. Die Zähne, die Gegenstand der Untersuchungen sind, müssen physisch versendet werden um in den einzelnen Centern verwendet werden zu können. Der Transport birgt die Gefahr von Beschädigungen oder im schlimmsten Fall den Totalverlust.

Alternativ müssen die Untersucher reisen, um die Studienteilnahme zu gewährleisten. Zur Evaluation kariologischer Untersuchungsmethoden ist der Vergleich mit einem Referenzstandard nötig. Häufig dient als Goldstandard die Histologie [Huysmans 2004]. Werden die zuvor untersuchten extrahierten Zähne histologisch aufbereitet, führt dies zur unwiederbringlichen Zerstörung der Zahnproben.

## 7.2 Diskussion von Material und Methode

### 7.2.1 Auswahl und Lagerung der Zähne

Aus einem Pool extrahierter, humaner Zähne wurden 100 Zähne ausgewählt. Die Zähne waren teils kariesfrei und teils unterschiedlich stark kariös verändert. Gefüllte, überkronte, fissurenversiegelte oder anderweitig iatrogen veränderte Zähne wurden aus der Studie ausgeschlossen. Nach Extraktion wurden die Zähne in Thymol-Lösung gelagert. Erst unmittelbar vor der *in vitro* Kariesdiagnostik wurden die Zähne aus der Lösung entnommen um eine Dehydrierung zu vermeiden.

Formaldehyd, Ethanol, Chloramine, Tiefgefrieren, Wasser, destilliertes Wasser, Kochsalzlösung und Thymol sind die bislang am häufigsten beschriebenen Lagerungsmedien für extrahierte Zähne [Albrecht et al. 2013]. Da die Zähne als potentiell infektiös zu betrachten sind, sollte ein desinfizierendes Medium verwendet werden [Attam 2009]. Gleichzeitig sollten die Zähne durch die Lagerung in ihrer Struktur nicht verändert werden.

Thymol, zur Klasse der Phenole zählend [5-Methyl-2-(methylethyl)phenol], ist ein farbloses, nach Thymian riechendes, würzig und brennend schmeckendes Kristall. Dieses ist in Wasser schwer löslich. Thymol ist unter anderem ein wesentlicher Bestandteil ätherischer Öle der Samen von *Ptychotis ajowan*, einer krautigen Heilpflanze [Anselmino 1928]. Synthetisch wird es aus m-Kresol und Propylen unter dem Einfluß von Schwefelsäure gewonnen [Bodendorf 1958]. Thymol verfügt über bakteriostatische und fungizide Eigenschaften, auch auf Hefen und Schimmelpilze [Hänsel 2009]. Thymol-Lösung wurde bereits in mehreren auf ICDAS bezogenen *in vitro* Studien als Lagermedium für extrahierte Zähne verwendet [Diniz, 2009; Shoaib 2009].

Es liegen keine Studien zur Beeinflussung der Kariesdetektion durch Thymol-Lösung als Lagerungsmedium vor. Die polymerisationsinhibierende Wirkung des Thymol auf Methylmethacrylate [Fujisawa und Kadoma 1992] war in dieser Studie nicht von Bedeutung. Dies gilt ebenfalls für die Auswirkung des Thymols auf das Fluoreszenzverhalten der Zahnhartsubstanzen [Jablonski-Momeni et al. 2011; Jablonski-Momeni et al. 2012].

Die Kohorte Zähne wurde bereits in einer vorigen Studie verwendet [Jablonski-Momeni et al. 2009]. Aufgrund des Kariesrückgangs in Deutschland und der

daraus folgend abnehmenden Extraktionsnotwendigkeit stehen immer weniger geeignete Zähne aller Kariesstadien für Studien zur Verfügung, sodass sich mit Fokus auf eine hohe Zahl an Untersuchungsobjekten für dieses Vorgehen entschieden wurde.

### **7.2.2 Visuelle Untersuchung**

Vor der Befundung wurden die Zähne gereinigt, Verfärbungen und Zahnstein entfernt. Untersucher 1 und Untersucher 2 beurteilten die Zähne nach ICDAS Kriterien für okklusale Kariesdiagnostik zweimal. Zwischen beiden Durchgängen bestand ein Zeitabstand von drei Wochen, um einen möglichen Erinnerungseffekt ausschließen zu können.

Die WHO [1997] empfiehlt im Rahmen epidemiologischer Studien kariöse Zähne erst dann als kariös (decayed) zu erfassen, wenn diese bereits kavitiert sind oder erweichte, unterminierte Schmelzränder tastbar sind. Erst dann sei eine verlässliche Diagnose möglich. Zähne mit white spot Läsionen, Oberflächenrauigkeiten und verfärbte Fissuren werden als gesund beurteilt. Nyvad et al. [1999] sehen durch den stetigen Kariesrückgang bei Kindern und Erwachsenen die Notwendigkeit für ein sensibleres Kariesdiagnoseverfahren gegeben, dass die heutige Verbreitung von Karies in der Gesellschaft besser darstelle.

Ein Erfassen von ausschließlich kavittierter Karies führt zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Kariesaufkommens [Pitts 1988; González 2003].

2002 wurde durch internationale Kariologen das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) vorgestellt. Auf bisherigen Kariesdiagnosekonzepten [Ekstrand 1995; Ekstrand 1997; Ismail 2004] basierend, wurde ein neues System für die Forschung als auch die klinische Praxis erarbeitet, dass bereits frühzeitig Kariesläsionen visuell-taktil erfasst und zu einer besseren Vergleichbarkeit epidemiologischer Studien und klinischer Forschungsergebnisse beitragen soll. Die standardisierte Informationsgewinnung soll eine Entscheidung über angemessene Diagnose, Prognose und Kariesmanagement erleichtern [ICDAS 2005]. 2005 wurden die ICDAS Kariesdiagnostik Codes 3 und 4 ausgetauscht, so dass nun mit steigendem ICDAS Code eine zunehmende Tiefenausdehnung der Karies im histologischen Präparat einhergeht [ICDAS 2005].



ICDAS ermöglicht die Beurteilung von Glattflächen-, Wurzel-, und Okklusalkaries sowie Karies an Restaurationsrändern. Per bidigitalem Code lässt sich für jede Zahnfläche sowohl Versorgung als auch Gesundheitszustand kompakt angeben. Die erste Zahl steht für die Versorgung (Code 0-9), die zweite Zahl für den Kariescode (0-6) [Dikmen 2015, ICDAS 2009].

Da in der vorliegenden Untersuchung ausschließlich unversorgte Zähne verwendet wurden, beträgt der Versorgungscode jeweils 0 und wurde nicht extra aufgeführt.

### **7.2.3 Kariesdetektion an digitalen Abbildungen**

Die Okklusalfächen der Zähne wurden getrocknet und neben einem Glasmaßstab liegend mit einer Spiegelreflexkamera fotografiert. Anschließend wurden die Messpunkte auf den Fotografien durch einen Kreis markiert und nummeriert. Die Beurteilung der Messpunkte erfolgte am Computer. Das ICDAS Coordinating Committee empfiehlt zum Erlernen des ICDAS zunächst einen Halbtage mit der Beurteilung und Diskussion fotografierter Zähne und deren Codes zu beginnen [ICDAS 2009].

Im Gegensatz zur Befundung am Patienten ergeben sich bei der Kariesdetektion an digitalen Abbildungen zwangsläufig Abweichungen vom ICDAS Protokoll. Der Einsatz einer stumpfen WHO-Sonde als unterstützendes Hilfsmittel bei der Detektion von Schmelzdiskontinuitäten ist hierbei nicht möglich. Auch der Einsatz eines Dreifunktionshandstücks zum 5-sekündigen Trocknen der Zahnoberfläche entfällt. Van Hilsen und Jones [2013] berichteten von irritierenden Reflexionen auf den Fotografien. Im Gegensatz zu unserem Versuchsaufbau wurden in ihrer *ex vivo* Studie von jeder Okklusalfäche zwei Fotografien erstellt: eine nach Beträufeln mit Kochsalzlösung zur Imitation des Speichels und eine nach zehnsekündiger Trocknung. Boye et al. [2013] konnten *in vivo* keine klinisch signifikanten Unterschiede zwischen traditioneller visueller und fotografischer Befundung feststellen. Die Bilder wurden mit einer Intraoralkamera aufgenommen, die Zähne waren mittels Watterollen relativ trockengelegt.

#### **7.2.4 Herstellung der Zahnhartschnitte**

Karies breitet sich von der Fissur ausgehend dreidimensional im darunter liegenden Gewebe aus. Nach Erreichen der Schmelz-Dentin-Grenze unterminiert sie den Schmelz und folgt den Dentinkanälchen Richtung Pulpa [Hellwig 2009].

Um die tatsächliche Ausdehnung der Karies histologisch erfassen zu können, muss der Schnitt exakt auf die Stelle der größten Kariesausdehnung gelegt werden. Im Vergleich zur häufig verwendeten Technik der Hemi-Sektion [Ari 2013; Van Hilsen 2013] erhöht die in dieser Studie angewendete Serienschchnitttechnik [Stachniss 2009] die Wahrscheinlichkeit die tatsächliche Kariesausdehnung darzustellen. Aus einem Zahn wurden 11-15 Schnitte gewonnen, 3-4 Schnitte standen pro Messpunkt zur Verfügung. Das Präparat mit der pro Messpunkt größten Kariesausdehnung wurde als maßgeblich genommen. Die Schichtdicke der einzelnen Schnitte lag bei  $200\mu\text{m} \pm 30\mu\text{m}$ . Über ein eingebettetes Dreieck konnte die zweifelsfreie dreidimensionale Zuordnung zu den einzelnen Messpunkten gewährleistet werden. Potentielle Nachteile der Dünnschliffpräparate liegen in der Frakturgefahr der dünnen Segmente und dem Substanzverlust durch das Sägeblatt sowie Politur der einzelnen Präparatscheiben. Um den Substanzverlust möglichst gering zu halten, wurde in dieser Studie für die Sägeschnitte an Molaren ein  $200\mu\text{m}$  breites und an Prämolaren ein  $100\mu\text{m}$  breites Sägeband verwendet. Dünnschliffpräparate wurden bereits mehrfach zur histologischen Auswertung herangezogen, etwa von Braga [2009] und Souza-Zaroni [2006], die jeweils  $250\mu\text{m}$  breite Schnitte herstellten.

Die Schnitte wurden in digitalisierter Form gemeinsam im Konsens beurteilt. Jablonski-Momeni et al. [2009] konnten zeigen, dass die Untersuchung digitalisierter Schnitte mit der direkten Mikroskopie vergleichbar ist. Gerade bei der Konsensbefundung boten die projizierten, digitalen Bilder die Möglichkeit sich bei divergierender Meinung besprechen zu können.

#### **7.2.5 Histologie als Goldstandard**

Unter dem Begriff Goldstandard versteht man in der Medizin ein Verfahren, das als erprobt und zuverlässig gilt. Neue Verfahren oder Behandlungen werden an diesem Goldstandard gemessen um ihre Reliabilität zu bestimmen.

In der Kariesdiagnostik wird zur Ermittlung der Läsionstiefe am häufigsten die Mikroskopie histologischer Schnitte verwendet [Downer 1975, Huysmanns und Longbottom 2004]. Huysmanns und Longbottom [2004] haben sich mit der Histologie als Goldstandard kritisch auseinander gesetzt: die visuelle Beurteilung der Kariesausdehnung im Dentin sei nicht genau definiert. Außerdem gäbe es keine festgelegte Technik für die Sektion des Zahnes, Schnittebene und tiefster Punkt der Kariesausdehnung stimmten häufig nicht überein und es komme pro Schnitt zu etwa 120µm bis 250µm Substanzverlust. Die als Alternative genannten radiographischen Methoden schienen aber aufgrund der Fissurenmorphologie für Okklusalkaries weniger geeignet. Ismail [2007] führt als Nachteil an, dass die Histologie als Form der Validierung nur für extrahierte Zähne anwendbar sei.

### 7.2.6 Studiendesign

Die vorliegende Laborstudie ermöglicht durch ihr *in vitro* Design die Kariesdetektion, durchgeführt an extrahierten Zähnen und ihren digitalen Abbildungen, durch den Goldstandard Histologie zu validieren. Nachteilig ist, dass die Ergebnisse der *in vitro* Untersuchung nicht eins zu eins auf die klinische Situation übertragen werden können. Ideal wäre daher ein kombinierter Studienaufbau, bei dem sich an eine *in vivo* Untersuchung der Zahnflächen eine Beurteilung dieser Bereiche *in vitro* anschließt [Pitts 2001]. Aus einem derartigen Studiendesign ergäbe sich aber die ethisch als fragwürdig zu betrachtende Extraktion aller an der Studie beteiligten Zähne, unabhängig einer klinischen Notwendigkeit. Das *in vitro* Design gewährleistet, dass die zur Untersuchung verwendeten Zähne einer klinischen Indikation folgend extrahiert wurden, etwa in Form kieferorthopädischer Ausgleichsextraktionen oder aufgrund schwerwiegenden parodontalem Attachmentverlusts.

Begleitinformationen wie Karieserfahrung, Alter, Compliance und Pflegezustand des Gebisses stehen den Untersuchern im Rahmen der *in vitro* Studie nicht zur Verfügung. In der klinischen Situation würde der Untersucher diese Informationen zur Ermittlung des Kariesrisikos und Entscheidung für eine Therapieform miteinbeziehen.

## 7.3 Diskussion der Ergebnisse

### 7.3.1 Diskussion der Verteilung

In der vorliegenden Arbeit wurden 110 Molaren und Prämolaren der bleibenden Dentition verwendet und auf deren Kauflächen 169 Messpunkte festgelegt.

#### *Verteilung der Diagnosen für die Untersuchung am extrahierten Zahn*

Bei Betrachtung der Verteilung der Kariesdetektion an extrahierten Zähnen fällt auf, dass diese sich auf die ICDAS Codes 0 bis 2 konzentriert. 17,2% (U1) beziehungsweise sogar 36,1% (U2) der Messpunkte wurden von den Untersuchern als gesund eingestuft. Eine Schmelzkaries (ICDAS Code 1 und 2) detektierte Untersucher 1 bei 45% der Messpunkte, Untersucher 2 bei 43,2% der Messpunkte. Eine Dentinbeteiligung ohne freiliegendes, deutlich sichtbares Dentin wurde bei 30,8% (U1) bzw. 13% (U2) der Messpunkte bestimmt. Eine deutlich sichtbare Kavität (ICDAS Code 5 und 6) stellten Untersucher 1 bei 13% der Messpunkte und Untersucher 2 bei 13,6% der Messpunkte fest. Der zunehmende Rückgang großer Kavitäten spiegelt sich in unserer Studie an der Verteilung der ICDAS Codes an extrahierten Zähnen wieder. Gesunde Zähne und Zähne mit initialkariösen Veränderungen stellten den Großteil der extrahierten Zähne. Dies ist von besonderer Bedeutung, da diese Zähne bei einer Untersuchung nach WHO-Kriterien (D3 Niveau) alle als gesund eingestuft und keine weitere Unterteilung vorgenommen worden wäre. Dennoch fällt auf, dass die Übereinstimmung bei Vorliegen einer Kavität größer ausfällt.

#### *Verteilung der Diagnosen für die Untersuchung an digitalen Abbildungen*

Auch bei der Kariesdetektion an digitalen Abbildungen entfallen mehr als die Hälfte (61,8%) der Diagnosen auf einen ICDAS Code 0, 1 oder 2. Während 20% der Messpunkte im Mittel der vier Untersucher als gesund detektiert wurden, entfallen 41,8% der Diagnosen auf eine Karies ohne Dentinbeteiligung (ICDAS Code 1 und 2). Für eine Karies mit Dentinbeteiligung ohne offensichtlich freiliegendes Dentin entschieden sich die vier Untersucher bei 30,3% der Messpunkte. Auf kavitierte Läsionen mit deutlich sichtbarem Dentin entfielen 8% der Messpunkte.

Es fällt auf, dass Untersucher 4 ausnehmend wenige Messpunkte als gesund (ICDAS Code 0) eingestuft hat. Dies ist wahrscheinlich auf die mangelnde

Berufserfahrung und den großen Eifer keine Karies übersehen zu wollen, zurückzuführen.

### 7.3.2 Reproduzierbarkeit der ICDAS-Diagnostik

Die Reproduzierbarkeit eines Kariesdiagnoseverfahrens ist ein wichtiger Faktor. Die Intrauntersucherreproduzierbarkeit gibt Auskunft darüber, wie verlässlich ein Untersucher bei mehrmaliger Untersuchung die gleiche Diagnose stellt. Die Reproduzierbarkeit gibt demnach auch Informationen darüber, wie verlässlich ein Kariesdiagnosesystem für das Kariesmonitoring eingesetzt werden kann. Die Betrachtung der Interuntersucher-Reliabilität ermöglicht eine Einschätzung der Übereinstimmung der Kariesdiagnosen mehrerer Untersucher untereinander. Anhand der Reproduzierbarkeit kann auch ermittelt werden, ob ein Kariesdiagnoseverfahren erlernbar und reliabel anwendbar ist.

Um neben der Interuntersucherreproduzierbarkeit auch die Intrauntersucherreproduzierbarkeit bestimmen zu können, wurden die extrahierten Zähne als auch die digitalen Abbildungen zwei Mal mit einem Abstand von 3 Wochen untersucht. Der Abstand zwischen beiden Untersuchungsdurchgängen diente dazu einen möglichen Erinnerungseffekt ausschließen zu können.

Die Angabe der Übereinstimmungsgüte erfolgte durch den gewichteten Kappawert  $\kappa_w$ , da dieser besonders für ordinale Skalen geeignet ist [Cohen 1968]. Hintergrund ist, dass eine Abweichung der Detektion um mehrere ICDAS Kategorien stärker gewichtet wird (zum Beispiel ICDAS Code 4 statt ICDAS Code 1) als eine Abweichung in benachbarte Kategorien. Diese Verfahrensweise ist sinnvoll, da eine große Diskordanz der Diagnosen zweier Zahnärzte höchstwahrscheinlich in unterschiedlichen therapeutischen Maßnahmen enden würde. Unterschätzt ein Zahnarzt eine Läsion, würde dies zu einer Unterbehandlung und damit der Gefahr des ungehinderten Fortschreitens der Läsion führen, während eine Überbehandlung möglicherweise invasive Therapiemaßnahmen beinhielte und damit unwiederbringlich zum iatrogenen Verlust von Zahnhartsubstanz führte.

### 7.3.2.1 Reproduzierbarkeit des ICDAS an extrahierten Zähnen

#### *Intrauntersucher-Reproduzierbarkeit*

Die Untersuchung zeigte folgende Ergebnisse: für Untersucher 1 ergab sich ein gewichteter Kappa-Wert  $\kappa_{\omega}$  von 0,84 und für Untersucher 2 betrug der gewichtete Kappa-Wert  $\kappa_{\omega}$  0,73. Daraus ergibt sich nach den Kriterien von Landis und Koch [1977] für Untersucher 1 eine *nahezu vollständige Übereinstimmung* und für Untersucher 2 eine *substantielle Übereinstimmung*.

#### *Interuntersucher-Reproduzierbarkeit*

Die Interuntersucher-Reproduzierbarkeit ergab einen gewichteten Kappa  $\kappa_{\omega}$  von 0,62. Der Einteilung von Landis und Koch [1977] folgend, liegt eine *substantielle Übereinstimmung* vor.

Es zeigt sich, dass es den beiden Untersuchern bereits nach einer zweistündigen Unterweisung in die ICDAS-Kriterien gelang, die ICDAS Kriterien zuverlässig und reproduzierbar anzuwenden. Die Ergebnisse aus dieser Untersuchung wurden bereits im Rahmen einer weiteren Untersuchung publiziert [Jablonski-Momeni et al. 2008].

Eine substantielle bis nahezu vollständige Intrauntersucher-Reproduzierbarkeit ( $\kappa_{\omega}$  0,80-0,93) und Interuntersucher-Reproduzierbarkeit ( $\kappa_{\omega}$  0,72-0,90) zeigte auch die Studie von Jablonski et al. [2010]. Die Okklusalfächen 50 bleibender Molaren wurden von drei in ICDAS geübten Untersuchern in unterschiedlichen Zeitabständen (ein Tag, eine Woche, ein Monat) untersucht. Dabei wurde keine Beeinflussung der Untersuchungsergebnisse durch die sich ändernden Zeitabstände festgestellt.

Auch in einer Studie zum Einfluss mehrerer Messpunkte pro Okklusalfäche auf die Kariesdiagnostik mittels ICDAS lagen die gewichteten Kappa Werte für die Intrauntersucherreproduzierbarkeit bei starker bis nahezu vollständiger Übereinstimmung ( $\kappa_{\omega}$  0,72-0,82), die Interuntersucher-Reproduzierbarkeit lag im moderaten und substantiellen Bereich ( $\kappa_{\omega}$  0,54-0,80) [Jablonski-Momeni et al. 2009]. Die Okklusalfächen von 100 Molaren und Prämolaren wurde durch einen Referenzuntersucher und drei in ICDAS geschulten Untersuchern begutachtet. Pro Okklusalfäche wurden bis zu vier Messpunkte ausgewählt. Die Autoren konnten zeigen, dass die Kariesdetektion an einem Zahn mit

mehreren Messpunkten pro Okklusalfäche vergleichbare Ergebnisse zu Detektion an Zähnen mit nur einem Messpunkt bringt. In beiden Studien wurde gegen den Goldstandard Histologie validiert.

Diese Ergebnisse für die Interuntersucher-Reproduzierbarkeit stehen im Gegensatz zu Ergebnissen von Ozturk und Sinanoglu [2015]: die gewichteten Kappa Werte für die Intrauntersucher-Reproduzierbarkeit bei visueller Inspektion nach ICDAS Kriterien betrugen 0,63 und 0,80, es lag damit eine substantielle Übereinstimmung vor. Die Interuntersucherreproduzierbarkeit lag bei  $\kappa_w$  0,33 und 0,41 und war damit nur ausreichend bis moderat. Die Ursache könnte in der Untersuchung der Okklusalfächen ausschließlich gesunder Zähne oder Zähnen mit nichtkavitierten Kariesläsionen liegen. Fortgeschrittenere Kariesstadien waren von der Studie ausgeschlossen.

In der Studie von Diniz et al. [2009] bezüglich der Reproduzierbarkeit des ICDAS angewendet an Okklusalfächen war die Intrauntersucherreproduzierbarkeit ( $\kappa$  0,58 und 0,59) moderat. Die Interuntersucherreproduzierbarkeit ( $\kappa$  0,51) war ebenfalls moderat. Zu beachten ist, dass der Kappa-Wert ein ungewichteter Kappa-Wert ist. Die Autoren erklären sich die moderaten Kappa-Werte durch eine nur kurze Einführung in das ICDAS.

Eine Studie von Ismail et al. [2007] ergab eine nahezu perfekte Intrauntersucherreproduzierbarkeit zwischen  $\kappa_w$  0,83 und 0,98, sowie eine Interuntersucherreproduzierbarkeit zwischen  $\kappa_w$  0,73 und 0,90. In einem zweiten Durchgang ergab sich für die Intrauntersucherreliabilität eine moderate bis nahezu perfekte Übereinstimmung. Die Interuntersucherreliabilität war substantiell.

### 7.3.2.2 Reproduzierbarkeit des ICDAS an digitalen Abbildungen

#### *Intrauntersucher-Reproduzierbarkeit*

Die berechneten gewichteten Kappa-Werte für die Intrauntersucherreproduzierbarkeit liegen zwischen 0.58 und 0.74. Für Untersucher 1 ergibt sich ein  $\kappa_{\omega}$  von 0,74, Untersucher 2 erreichte einen  $\kappa_{\omega}$  von 0,63, bei Untersucher 3 ergab die Auswertung einen  $\kappa_{\omega}$  von 0,58 und Untersucher 4 erreichte einen  $\kappa_{\omega}$  von 0,73. Damit ergab sich den Kriterien nach Landis und Koch [1977] folgend für Untersucher 1, 2, und 4 eine *substantielle Übereinstimmung*, die Intrauntersucherreproduzierbarkeit des Untersuchers 3 war *moderat*.

#### *Interuntersucher-Reproduzierbarkeit*

Die Berechnung der Reproduzierbarkeit der Untersucher untereinander bei Befundung digitaler Abbildungen ergab gewichtete Kappawerte im Bereich von 0,41 bis 0,60. Nach Landis und Koch [1977] ist die Übereinstimmung der vier Untersucher untereinander damit als *substantiell* zu werten.

Untersucher 1 und Untersucher 2 wurden bereits für die Anwendung des ICDAS an den extrahierten Zähnen durch eine ICDAS erfahrene Person kalibriert [Jablonski-Momeni et al. 2008] und hatten sich seitdem im Rahmen von Forschungsprojekten intensiv mit der Validierung des ICDAS auseinandergesetzt. Untersucher 4, Zahnmedizinstudentin im klinischen Abschnitt, war im Rahmen ihres Studiums für ICDAS kalibriert wurden und hatte ICDAS bereits an extrahierten Zähnen und *in vivo* angewendet. Untersucher 3 hingegen, langjährig als praktizierender Zahnarzt und Kariologe tätig, wurde nicht durch einen anderen Teilnehmer für das ICDAS kalibriert. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass die nicht vorhandene Kalibrierung bei Untersucher 4 sich negativ auf die Intrauntersucherreproduzierbarkeit ausgewirkt hat und zu einer lediglich moderaten Übereinstimmung der zwei Detektionsdurchgänge an den digitalen Abbildungen führte.

Bei Jablonski-Momeni et al. [2014] stimmten die gewichteten Kappa-Werte moderat bis hoch überein ( $\kappa_{\omega}$  0,432-0,898). Digitalaufnahmen von 60 Zähnen wurden von 20 Zahnmedizinstudenten aus zwei unterschiedlich weit fortgeschrittenen Semestern bewertet. Die Zähne wurden in feuchtem und



trockenem Zustand fotografiert. Zusätzlich wurde zu jedem dieser beiden Fotos durch eine spezielle Technik ein bearbeitetes Foto mit spezieller Tiefenschärfe erstellt, das einen besseren Eindruck der dreidimensionalen Gestalt der Karies geben sollte. Zwei Drittel der Fotos wurden zum Bestimmen der Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit erneut befundet. Als Goldstandard wurde der Konsensbefund der Referenzuntersucher gewählt.

### 7.3.3 Korrelation

Um die Korrelation des ICDAS an extrahierten Zähnen mit der Histologie, sowie die Korrelation des ICDAS an digitalen Abbildungen mit der Histologie beurteilen zu können, wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman  $r_s$  untersucherbezogen berechnet. Die histologische Untersuchung stellte dabei den Goldstandard dar.

Die Anwendung des ICDAS an extrahierten Zähnen korrelierte mit der Histologie *moderat* [Ricketts et al. 1998]. Der Rangkorrelationskoeffizient  $r_s$  lag bei 0,60 (Untersucher 1) und 0,56 (Untersucher 2).

Für die Anwendung des ICDAS an digitalen Abbildungen ergab sich ebenfalls eine *moderate* Korrelation [Ricketts et al. 1998]. Der Rangkorrelationskoeffizient  $r_s$  variierte zwischen 0,50 (Untersucher 3) und 0,63 (Untersucher 2).

Die Korrelation beider Verfahren ist daher als gleichwertig zu erachten.

In der *in vitro* Studie von Gomez et al. [2013] zeigte sich hingegen sowohl zwischen der Untersuchung extrahierter Zähne und der histologischen Auswertung als auch zwischen der Beurteilung digitaler Abbildung und der Histologie eine hohe Korrelation und liegt auf dem Niveau  $p \leq 0,01$  signifikant. Der Rangkorrelationskoeffizient  $r_s$  lag für die Untersuchung extrahierter Zähne bei 0,88 und für die Untersuchung digitaler Abbildungen bei 0,87. Im Gegensatz zur vorliegenden Studie basieren die Ergebnisse zu diesen beiden Methoden von Gomez et al. auf nur einem Untersucher. Ebenfalls abweichend zu dem hier vorliegenden Studiendesign wurden in der Untersuchung von Gomez et al. die Zähne hemisektioniert, während hier die Kariesausdehnung durch 3-4 Zahnhartschnitte pro Messpunkt ermittelt wurde.

Bei Betrachtung der Kreuztabellen fällt auf, dass die Diagnose „schmelzbeschränkte Karies“ (ICDAS Code 1-2) seltener mit der Histologie

übereinstimmt, als die Diagnose „Dentinkaries“ (ICDAS Code 3-6) (s. Tabellen 5.6-5.11). Es ist anzunehmen, dass sich schwerwiegendere Kariesformen aufgrund der deutlicheren optischen Merkmale leichter diagnostizieren lassen, als Karies im Frühstadium.

Trotz dessen, dass die Kariesdiagnostik an digitalen Abbildung nur ohne Hilfsmittel wie WHO-Sonde und Luft-Wasser-Multifunktionsspritze durchgeführt werden kann, lag die Korrelation zwischen Karies im Initialstadium und Histologie (50,59%) nicht unter der an extrahierten Zähnen (42,16%) durchgeführten Diagnostik. Dass die Verwendung einer Sonde, hier Explorersonde, keinen Einfluss auf die Validität der Kariesdiagnostik hat, zeigte auch Lussi et al. [1991].

#### **7.3.4 Validität, diagnostische Güte**

Sensitivität, Spezifität sowie die diagnostische Güte wurden in dieser Arbeit auf zwei unterschiedlichen Niveaus betrachtet: D1 Niveau (Unterscheidung in gesunder Zahn vs. kariöser Zahn) und auf D3 Niveau (Unterscheidung in Karies mit Dentinbeteiligung vs. kariesfrei/ Karies ohne Dentinbeteiligung).

Dessen zugrunde liegt die Überlegung, dass für die Therapieentscheidung des Zahnarztes die Dentinbeteiligung eine wichtige Größe darstellt [Holmgren 2014].

Für die Untersuchung extrahierter Zähne variierte die Sensitivität auf D1 Niveau zwischen 74,6% und 93,4%, die Spezifität zwischen 38,3% und 53,3%. Auf D3 Niveau bewegte sich die Sensitivität zwischen 54,0% und 74,6%, die Spezifität zwischen 77,4% und 90,6%. Die aus beiden Untersuchern gemittelten Werte für die Area under the curve AUC ergaben auf D1 Niveau 0,73 und auf D3 Niveau 0,85.

Für die Untersuchung digitaler Abbildungen variierte die Sensitivität auf D1 Niveau zwischen 73,8% und 99,2%, die Spezifität zwischen 17,0% und 63,8%. Auf D3 Niveau bewegte sich die Sensitivität zwischen 60,3% und 76,2%, die Spezifität zwischen 74,5% und 87,7%. Die aus den vier Untersuchern gemittelten Werte für die AUC ergaben auf D1 Niveau 0,76 und auf D3 Niveau 0,80.

Es fällt auf, dass Untersucher 4 auf D1 Niveau eine sehr hohe Sensitivität (99,25) und im Gegenzug eine sehr geringe Spezifität (17,0%) aufweist. Das ist

möglicherweise darauf zurückzuführen, dass Untersucher 4 als noch unerfahrener Untersucher (im Zahnmedizinstudium befindlich) Angst hatte, Karies zu übersehen und daher einen erhöhten Ehrgeiz an den Tag legte.

Sowohl bei der Kariesdiagnostik an extrahierten Zähnen als auch an digitalen Abbildungen besteht auf D1 Niveau eine hohe Sensitivität, jedoch eine schlechte Spezifität. Demnach werden fälschlicherweise viele gesunde Zähne als kariös diagnostiziert. Auf D3 Niveau sind Sensitivität und Spezifität ausgeglichener.

Da die Spezifität auf D3 Niveau deutlich höher als auf D1 Niveau ist, ist anzunehmen, dass die falschpositiven Diagnosen vor allem die ICDAS Codes 1 und 2 betreffen. Da vermeintliche Initialläsionen vermutlich mit präventiven Maßnahmen behandelt werden würden, wäre eine Übertherapie weniger kritisch zu betrachten, da keine Zahnhartsubstanz geopfert, sondern stattdessen mit Fluoridierung und erhöhtem Kontrollintervall behandelt werden würde.

Nach Veröffentlichung der Ergebnisse unserer Studie [Bottenberg 2016] publizierten auch Carvalho et al. [2018] dass ICDAS möglicherweise nicht so effektiv in der Unterscheidung gesunder und initialkariöser Zähne sei.

Altarakemah et al. [2012] berichten ebenfalls, dass gesunde Flächen häufig als initialkariös missklassifiziert wurden.

Boye et al. [2012], die für ihr Studiendesign einen Schwellenwert ähnlich unseres D3 Niveaus nahmen, erreichten eine Sensitivität von 65,5% (extr. Zähne) und 81,3% (dig. Abb.) und eine Spezifität von 82,4% (extr. Zähne) und 82,4% (dig. Abb.).

Presoto et al. [2017], die in einer klinischen Studie unter anderem ICDAS intraoral und ICDAS auf Intraoralfotos angewendet mit dem Standard Bissflügelaufnahmen verglichen, erreichten exzellente Werte für Sensitivität/Spezifität: Zähne intraoral (0,84/0,99), Intraoralfotos (0,89/0,96). Diese guten Werte für Sensitivität und Spezifität könnten sich daher erklären, dass aufgrund des klinischen Studienaufbaus der Goldstandard Histologie aus ethischen Gründen nicht möglich war und stattdessen auf Bissflügelaufnahmen zurückgegriffen wurde. Nach Lussi et al. [1993, 1995, 1996] liegt die Spezifität von Bissflügelaufnahmen zur Diagnostik okklusaler Karies bei 83%, die

Sensitivität bei Dentinkaries ohne Kavität bei nur 45%, bei Dentinkaries mit Kavität bei 79%. Des Weiteren wurden Zähne mit den ICDAS Codes 0-2 als kariesfrei deklariert, was dem D3 Niveau in der vorliegenden Arbeit entspricht.

Die diagnostische Güte zwischen digitalen Abbildungen und extrahierten Zähnen ist für Untersucher 1 auf beiden Niveaus vergleichbar, der Unterschied der AUC Werte beider Verfahren statistisch nicht signifikant.

Für Untersucher 2 ergibt sich auf D1 Niveau eine signifikant höhere diagnostische Güte für die Kariesdiagnostik an digitalen Abbildungen, auf D3 Niveau unterscheiden sich beide Methoden nicht signifikant.

Auf D3 Niveau erreichen beide Verfahren leicht höhere AUC-Werte (extrahierte Zähne gemittelt: 0,85 vs. digitale Abbildungen gemittelt: 0,80).

Daraus lässt sich ableiten, dass digitale Abbildungen und extrahierte Zähne vergleichbar geeignet für die Kariesdiagnostik sind.

Auch Carvalho et al. [2018] bestätigen, dass beide Methoden in ihrer diagnostischen Güte vergleichbar sind.

Gomez et al. [2013] stellen ebenfalls keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Güte der Kariesdiagnostik an extrahierten Zähnen und der Kariesdiagnostik an digitalen Abbildungen fest.

Die Veröffentlichung von Gomez et al. [2013] weist sowohl für ICDAS an extrahierten Zähnen (0,95-0,98) als auch für ICDAS an digitalen Abbildungen (0,94-0,98) eine sehr hohe AUC auf. Im Gegensatz zu unserer Studie führte nur ein Untersucher die verschiedenen Kariesdiagnostikuntersuchungen durch.

## **7.4 Schlussfolgerung und klinische Relevanz**

Die vorliegende in-vitro Studie konnte zeigen, dass die diagnostische Güte des ICDAS Verfahrens zur Detektion der Okklusalkaries an digitalen Abbildungen vergleichbar, teils sogar höher im Vergleich zur diagnostischen Güte des ICDAS Verfahren zur Detektion der Okklusalkaries an extrahierten Zähnen ist. Der bei digitalen Abbildungen technisch nicht mögliche Einsatz von Hilfsmitteln wie Multifunktionsspritze und Sonde beeinträchtigt die Diagnoseleistung nicht.

Die gewichteten Intra-Untersucher-Kappa-Werte lagen für die Untersuchung extrahierter Zähne im Bereich substanzieller bis nahezu vollständiger Übereinstimmung, für die Untersuchung digitaler Abbildungen im Bereich

moderater bis substanzieller Übereinstimmung. Die gewichteten Inter-Untersucher-Kappa-Werte sind für beide Methoden als substanziell zu bezeichnen. Die Untersuchungsergebnisse extrahierter Zähne korrelieren moderat mit dem Goldstandard Histologie. Auch zwischen den Untersuchungsergebnissen digitaler Abbildungen und der Histologie liegt eine moderate Korrelation vor. Schwierigkeiten bereitete vor allem die korrekte Differenzierung zwischen gesunden und initialkariösen Okklusalfächen.

Visuelle Kariesdiagnostik ist letztlich vom Auge und der Interpretation des jeweiligen Untersuchers abhängig, weshalb bei kariologischen Studiendesigns Wert auf eine größere Anzahl an Untersuchern gelegt werden sollte. Die Kariesdiagnostik an digitalen Abbildungen ermöglicht es im Rahmen von Multi-Center Studien eine größere Untersucherzahl zu gewährleisten, unabhängig von logistischen Herausforderungen oder überregionalen Projektteilnehmern.

Die gleichwertige diagnostische Güte des ICDAS Verfahren zur Detektion okklusaler Karies an digitalen Abbildungen ermöglicht außerdem die effiziente Schulung von Zahnmedizinstudenten und Zahnärzten mithilfe digitalen Bildmaterials.

In einer klinischen Studie wäre zu prüfen, ob sich die Ergebnisse auch auf die intraorale Kariesdiagnostik übertragen lassen und ein Kariesmonitoring mithilfe gespeicherter digitaler Abbildungen möglich ist.

## 8 Zusammenfassungen

### 8.1 Zusammenfassung

Die Diagnose der Okklusalkaries an digitalen Abbildungen statt an extrahierten Zähnen durchzuführen, könnte den logistischen Aufwand bei Multi-Center-Studien senken und Schulungen sowie die zahnmedizinische Lehre erleichtern. Das visuell-taktile Kariesklassifikationssystem ICDAS ordnet Läsionen unterschiedlicher Ausprägung über visuelle Merkmale der entsprechenden Kariesausdehnung zu. Karies in verschiedene Stadien von der Initialläsion bis zur klinischen Zerstörung der Zahnkrone wird unterschieden und erfasst.

Die vorliegende Arbeit überprüft daher, ob die visuellen Merkmale des ICDAS auf digitalen Abbildungen vergleichbar gut erkannt werden können, wie an extrahierten Zähnen. Die Hypothese lautet, dass die diagnostische Güte bei Anwendung des ICDAS zur Diagnose der okklusalen Karies an digitalen Abbildungen gleich der an extrahierten Zähnen ist, validiert am Goldstandard Histologie.

**Material und Methode:** Die Okklusalfächen von 100 extrahierten, humanen Molaren und Prämolaren wurden durch zwei Untersucher zwei Mal nach ICDAS-Kriterien untersucht. Die Zähne wurden anschließend digital fotografiert und histologisch aufbereitet. Vier Untersucher unterschiedlicher Berufserfahrung untersuchten nach ICDAS-Kriterien im Abstand von vier Wochen die digitalen Abbildungen zweimal am Computermonitor. Die histologische Auswertung (Goldstandard) erfolgte durch Konsensbefundung der digitalisierten Zahnhartschnitte durch alle vier Untersucher nach den Kriterien nach Downer.

Die Intra- und Interraterreproduzierbarkeit wurde mittels gewichteter Kappa-Werte und die Korrelation beider Verfahren (extrahierte Zähne/ digitale Abbildungen) mit der Histologie mittels Korrelationskoeffizient nach Spearman verglichen. Sensitivität und Spezifität wurden in ROC-Kurven dargestellt und die AUC gegenübergestellt.

**Ergebnisse:** Die Intrauntersucherreproduzierbarkeit variierte bei der Untersuchung extrahierter Zähne zwischen:  $\kappa_w$  0,73 und  $\kappa_w$  0,84 (substantielle

bis nahezu perfekte Übereinstimmung) und bei der Untersuchung digitaler Abbildungen zwischen  $\kappa_w 0,58$  und  $\kappa_w 0,74$  (moderate bis substantielle Übereinstimmung). Die Interuntersucherreproduzierbarkeit an extrahierten Zähnen war substantiell ( $\kappa_w 0,62$ ) und an digitalen Abbildungen moderat  $\kappa_w 0,41$  bis  $\kappa_w 0,60$ .

Die Korrelation mit der Histologie war bei beiden Verfahren moderat (extrahierte Zähne:  $r_s 0,56$  bis  $r_s 0,60$ ; digitale Abbildungen:  $r_s 0,50$  bis  $r_s 0,60$ ).

Die AUC der ROC-Kurven für ICDAS an extrahierten Zähnen betrugen im Mittel auf D1 Niveau bei 0,73 und auf D3 Niveau bei 0,85. Die AUC der ROC-Kurven für ICDAS an digitalen Abbildungen lagen mittelwertig bei 0,76 auf D1 Niveau und 0,80 auf D3 Niveau.

**Schlussfolgerung:** ICDAS, angewendet an digitalen Abbildungen zur Untersuchung auf Okklusalkaries, unterscheidet sich in seiner diagnostischen Güte nicht statistisch signifikant von der ICDAS Anwendung an extrahierten Zähnen.

Digitale Abbildungen können die logistischen Herausforderungen von Multicenter-Studien minimieren, zu einer höheren Zahl an Untersuchern beitragen und ebenfalls Schulung und Lehre vereinfachen.

## 8.2 Zusammenfassung Englisch

Detection of occlusal caries on digital images instead of extracted teeth could lead to less logistic trouble when organizing multi center studies and could also be helpful in coaching and studies.

The visual-tactile International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) relates lesions in differing stages with their corresponding extent in hard tooth tissue by interpreting visual signs. Caries is classified from initial to extensive lesions.

The present study's aim is to evaluate whether the visual signs of ICDAS are equally good to detect and interpret on digital images as on extracted teeth. The hypothesis is that diagnostic accuracy of ICDAS detecting occlusal caries on digital images equals to detecting occlusal caries on extracted teeth, validated by histology (gold standard).

**Methods:** The occlusal surfaces of 100 extracted human molars and premolars were scored twice by two observers using ICDAS criteria. Afterwards the teeth were photographed digitally and cut in sections for histologic reasons. Four examiners of differing professional experience scored the digital images on a screen twice at intervals of four weeks using ICDAS criteria. Digital images of the histologic sections were evaluated by all four observers taking a consensus decision using criteria of Downer (gold standard).

Intra- and inter-examiner reproducibility was proven by weighted kappa. Correlation of both techniques (extracted teeth/ digital images) with histology was calculated by Sperman's correlation coefficient. Sensitivity and specificity were illustrated as ROC curves, Areas under the Curve (AUC) got compared.

**Results:** Intra-examiner reproducibility of ICDAS on extracted teeth varied between  $\kappa_w 0.73$  -  $\kappa_w 0.84$  (substantial to almost perfect agreement) and for digital images between  $\kappa_w 0.58$  -  $\kappa_w 0.74$  (moderate to substantial agreement). Inter-examiner reproducibility was substantial ( $\kappa_w 0.62$ ) for extracted teeth and substantial for digital images ( $\kappa_w 0.41$  -  $\kappa_w 0.60$ ).

Correlation with histology was moderate for both methods (extracted teeth:  $r_s 0.56$  -  $r_s 0.60$ ; digital images:  $r_s 0.50$  -  $r_s 0.60$ ).



The AUC values of ROC curves of ICDAS on extracted teeth were 0.73 averaged (D1 level) and 0.85 averaged (D3 level). The AUC values of ROC curves of ICDAS on digital images were 0.76 averaged (D1 level) und 0.80 averaged (D3 level).

**Conclusion:** ICDAS applied on digital images to assess occlusal caries does not differ statistically relevant in its validity from ICDAS applied on extracted teeth.

Digital images can minimize the logistic challenges of multi center studies, contribute a larger number of examiners and simplify training and education.

## 9 Literaturverzeichnis

Albrecht L, Ferreira EL, Passos MLM, Cecchetti RT (2013): Teeth processing in human teeth bank – proposal of protocol. In: RSBO 10(4), S. 386-393.

Anselmino O (Hrsg.), Gilg E (Hrsg.) (1928): Kommentar zum Deutschen Arzneibuch. Heidelberg: Springer Verlag. 6. Ausgabe, S. 588-589.

Ari T, Kofman SH, Ari N (2013): In vitro evaluation of magnification and LED illumination for detection of occlusal caries in primary and permanent molars using ICDAS criteria. In: Dent J 1, S. 19-30, DOI: 10.3390/dj1030019.

Attam K, Talwar S, Yadav S, Miglani S (2009): Comparative analysis of the effect of autoclaving and 10% formalin storage on extracted teeth: A microleakage evaluation. In: J Conserv Dent 12(1), S. 26-30. DOI: 10.4103/0972-0707.53338.

Bahrololoomi Z, Khodabakhsh M, Khaksar Y (2014): The effects of opaque and clear pit and fissure sealants on infrared laser fluorescence measurements. In: J Dent (Shiraz) 15(2), S. 63-67.

Birkeland JM, Bragelien J (1987): Continual highly significant decrease in caries prevalence among 14-year-old Norwegians. In: Acta Odontologica Scandinavica 45(3), S. 135-140.

Black GV (1914): Konservierende Zahnheilkunde. Berlin: Meusser Verlag.

Bodendorf K (1958): Kurzes Lehrbuch der pharmazeutischen Chemie, auch zum Gebrauch für Mediziner. Berlin/ Göttingen/ Heidelberg: Springerverlag, 5. Auflage, S. 357.

- Bottenberg P, Jacquet W, Behrens C, Stachniss V, Jablonski-Momeni A (2016): Comparison of occlusal caries detection using the ICDAS criteria on extracted teeth or their photographs. In: BMC Oral Health 16(93), DOI: 10.1186/s12903-016-0291-z.
- Boye U, Walsh T, Pretty IA, Tickle M (2012): Comparison of photographic and visual assessment of occlusal caries with histology as the reference standard. In: BMC Oral Health 12(10), DOI: 10.1186/1472-6831-12-10.
- Boye U, Willasey A, Walsh T, Tickle M, Pretty IA (2013): Comparison of an intra-oral photographic caries assessment with an established visual caries assessment method for use in dental epidemiological studies of children. In: Community Dent Oral Epidemiol 41(6) S. 526-533, DOI: 10.1111/cdoe.12049.
- Braga MM, Mendes FM, Martignon S, Ricketts DNJ, Ekstrand KR (2009): In vitro comparison of Nyvad's system and ICDAS-II with lesion activity assessment for evaluation of severity and activity of occlusal caries lesions in primary teeth. In: Caries Res 43(5), S. 405-412, DOI: 10.1159/000239755.
- Carvalho JC, Ekstrand KR, Thylstrup A (1989): Dental plaque and caries on occlusal surface of first permanent molars in relation to stage of eruption. In: J Dent Res 68(5), S. 773-779.
- Carvalho RN, Lerieri AS, Vieira TI, Santos TMP, Lopes TR, Neves AA, Pomarico L (2018): Accuracy of visual and image-based ICDAS criteria compared with a micro-CT gold standard for caries detection on occlusal surfaces. In: Braz Oral Res 32(e60), DOI: 10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0060
- Chesters RK, Pitts NB, Matuliene G, Kvedariene A, Huntington E, Bendinskaite R, et al. (2002): An abbreviated caries clinical trial design validated over 24 months. In: J Dent Res 81(9), S. 637-640, DOI: 10.1177/154405910208100912.

- Chong MJ, Seow WK, Purdie DM, Cheng E, Wan V (2003): Visual-tactile Examination Compared With Conventional Radiography, Digital Radiography, and Diagnodent in the Diagnosis of Occlusal Occult Caries in Extracted Premolars. In: *Pediatr Dent*, 25(4), S. 341-349.
- Cohen J (1960): A coefficient of agreement for nominal scales. In: *Educational and Psychological Measurement* 20(1), S. 37-46.
- Cohen J (1968): Weighted kappa: nominal scales agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. In: *Psychol Bull* 70(4), S. 213-220.
- Crabb HSM (1976): Fissures at risk. In: *Br Dent J* 140, S. 303-307.
- Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e.V. (DAJ) (2017): Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2016. Online unter URL: <https://www.daj.de/Studien.29.0.html> [zuletzt abgerufen: 09.08.2020].
- Dikmen, B (2015): ICDAS II criteria (International Caries Detection and Assessment System). In: *J Istanbul Univ Fac Dent* 49(3), S. 63-72, DOI: 10.17096/jiufd.38691.
- Diniz MB, Lima LM, Santos-Pinto L, Eckert GJ, Ferreira Zandona AG, de Cássia Loiola Carneiro R (2010): Influence of the ICDAS e-learning program for occlusal caries detection on dental students. In: *Journal of Dental Education* 74(8), S. 862-868.
- Diniz MB, Rodrigues JA, Hug I, Cordeiro RCL, Lussi A (2008): The influence of pit and fissure sealants on infrared fluorescence measurements. In: *Caries Res* 42(5), S. 328-333, DOI: 10.1159/000151327.
- Diniz MB, Rodrigues JA, Hug I, de Cássia R, Cordeiro L, Lussi A (2009): Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for occlusal caries detection. In:

Community Dent Oral Epidemiol 37(5), S. 399-404, DOI: 10.1111/j.1600-0528.2009.00487.x.

Downer MC (1975): Concurrent validity of an epidemiological diagnostic system for caries with the histological appearance of extracted teeth as validating criterion. In: Caries Res 9(3), S. 231-246.

Ekstrand KR, Kuzmina I, Bjorndal L, Thylstrup A (1995): Relationship between external and histologic features of progressive stages of caries in the occlusal fossa. In: Caries Res 29(4), S. 243-250.

Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA (1997): Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. In: Caries Res 31(3), S. 224-231.

Florianio I, Bonini GC, Matos R, Novaes TF, Ekstrand KR, Mendes FM, Braga MM (2014): How different do visuo-tactile criteria assess caries lesions activity status on occlusal surfaces? In: Oral Dis 21(3), S. 299-307, DOI: 10.1111/odi.12265.

Frencken JE, Peters MC, Manton DJ, Leal SC, Gordan VV, Eden E (2012): Minimal Intervention Dentistry (MID) for managing dental caries – a review. In: Int Dent J 62(5), S. 223-243, DOI: 10.1111/idj.12007.

Fujisawa S, Kadoma Y (1992): Effect of phenolic compounds on the polymerization of methyl methacrylate. In: Dent Mater 8(5), S. 324-326.

Fyffe HE, Deery C, Nugent ZJ, Nuttall NM, Pitts NB (2000): Effect of diagnostic threshold on the validity and reliability of epidemiological caries diagnosis using the Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis (DSTM). In: Community Dent Oral Epidemiol 28(1): S. 42-51, DOI: 10.1034/j.1600-0528.2000.280106.x.

- Gomez J, Zakian C, Salsone S, Pinto SCS, Taylor A, Pretty IA, Ellwood R (2013): In vitro performance of different methods in detecting occlusal caries lesions. In: J Dent 41(2) S. 180-186, DOI: 10.1016/j.jdent.2012.11.003.
- González MC, Ruíz JA, Fajardo MC, Gómez AD, Moreno CS, Ochoa MJ, Rojas LM (2003): Comparison of the def index with Nyvad's caries diagnostic criteria in 3- and 4-year-old colombian children. In: Pediatr Dent 25(2) S. 132-136.
- Hanley JA, McNeil BJ (1982): The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. In: Radiology 143(1), S. 29-36.
- Hänsel R, Sticher O (Hrsg.) (2009): Pharmakognosie – Phytopharmazie. Heidelberg: Springer Verlag, 9. Auflage, S. 1036.
- Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Oehme T, Weerheijm K, Stößer L (2003): Okklusalkaries-Diagnostik - Ein Vergleich von DIAGNOdent mit konventionellen Methoden. In: Oralprophylaxe 25, S. 77-80.
- Hellwig E, Klimek J, Attin T (2009): Einführung in die Zahnerhaltung. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Holmgren C, Gaucher C, Decerle N, Doméjean S (2014): Minimal intervention dentistry II: part 3. Management of non cavitated (initial) occlusal caries lesions – non-invasive approaches through remineralization and therapeutic sealants. In: Br Dent J 216(5), S. 237-243, DOI: 10.1038/sj.bdj.2014.147.
- Huysmans MC, Longbottom C (2004): The challenges of validating diagnostic methods and selecting appropriate gold standards. In: J Dent Res 83(Spec No C), S. C48-C52.
- ICDAS Foundation (Pitts NB, Ismail AI, Martignon S, Ekstrand K, Douglas GVA, Longbottom C (2014): ICCMS™ Guide for Practitioners and Educators. Online unter URL: <https://iccms->

web.com/uploads/asset/592845add7ac8756944059.pdf [zuletzt abgerufen 03.09.2020].

Iijima Y (2008): Early detection of white spot lesions with digital camera and remineralization therapy. In: Aust Dent J 53(3), S. 274-280, DOI: 10.1111/j.1834-7819.2008.00062.x.

Institut der deutschen Zahnärzte (IDZ) (Hrsg.) (2016): Fünfte deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). In: Materialienreihe. Köln: Deutscher Zahnärzteverlag (DÄV), Band 35.

International Caries Classification and Management System (ICCMS): ICDAS Decision Tree. Online unter URL: <https://iccms-web.com/uploads/asset/59284aa352ac9100435167.pdf> [zuletzt abgerufen: 03.09.2020].

International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) Coordinating Committee: Criteria Manual; International Caries Detection and Assessment System (ICDAS II), Bogota/Budapest (2009). Online unter URL: <https://iccms-web.com/uploads/asset/5ccb149905404942610729.pdf> [zuletzt abgerufen: 03.09.2020].

International Caries Detection and Assessment System Coordinating Committee (2005): Rationale and Evidence for the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS II). Baltimore. Online unter URL: <https://iccms-web.com/uploads/asset/592848be55d87564970232.pdf> [zuletzt abgerufen: 03.09.2020].

Ismail AI, Brodeur JM, Gagnon P, Payette M, Picard D, Hamalian T, et al.(1992): Prevalence of non-cavitated and cavitated carious lesions in a random sample of 7–9- year-old schoolchildren in Montreal, Quebec. In: Community Dent Oral Epidemiol 20(5), S. 250-255, DOI: 10.1111/j.1600-0528.1992.tb01693.x.

Ismail AI, Gagnon P (1995): A longitudinal evaluation of fissure sealants applied in dental practices. In: J Dent Res 74(9), S. 1583-1590, DOI: 10.1177/00220345950740091301.

Ismail AI, Sohn W, Tellez M, Amaya A, Sen A, Hasson H, Pitts NB (2007): The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries. In: Community Dent Oral Epidemiol 35(3), S. 170-178, DOI: 10.1111/j.1600-0528.2007.00347.x.

Ismail AI, Tellez M, Pitts NB, et al (2013): Caries management pathways preserve dental tissues and promote oral health. In: Community Dent Oral Epidemiol. 41(1), S. e12-e40, DOI: 10.1111/cdoe.12024.

Ismail AI (2004): Visual and visuo-tactile detection of dental caries. In: J Dent Res 83(Spec No C), S. C56-C66, DOI: 10.1177/154405910408301s12.

Ismail, AI, Pitts, NB, Tellez, M (2015): The International Caries Classification and Management System (ICCMS™) An example of a caries management pathway. In: BMC Oral Health 15(Suppl 1), S. 9, DOI: 10.1186/1472-6831-15-S1-S9.

Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Rolfsen S, Stoll R, Heinzl-Gutenbrunner M, Stachniss V, Pieper K (2011): Performance of laser fluorescence at tooth surface and histological section. Lasers Med Sci 26, S. 171-178, DOI: 10.1007/s10103-010-0768-y.

Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Heinzl-Gutenbrunner M, Stoll R, Stachniss V, Pieper K (2009): Impact of scoring single or multiple occlusal lesions on estimates of diagnostic accuracy of the visual ICDAS-II System. In: Int J Dent, DOI: 10.1155/2009/798283.

Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Stachniss V, Maschka R, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Occlusal caries (2009): Evaluation of direct



microscopy versus digital imaging used for two histological classification systems. In: J Dent 37(3), S. 204-211, DOI: 10.1016/j.jdent.2008.11.014.

Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Weber K, Ziomek O, Heinzl-Gutenbrunner M, Schipper HM, Stoll R, Pieper K (2010): Effect of different time intervals between examinations on the reproducibility of ICDAS-II for occlusal caries. In: Caries Res 44(3), S. 267-271, DOI: 10.1159/000314674.

Jablonski-Momeni A, Rosen SM, Schipper HM, Stoll R, Roggendorf MJ, Heinzl-Gutenbrunner M, Stachniss V, Pieper K (2012): Impact of measuring multiple or single occlusal lesions on estimates of diagnostic accuracy using fluorescence methods. In: Lasers Med Sci 27(2), S. 343-352.

Jablonski-Momeni A, Schipper HM, Rosen SM, Heinzl-Gutenbrunner M, Roggendorf MJ, Stoll R, Stachniss V, Pieper K (2011): Performance of a fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. In: Odontology 99(1), S.55-61, DOI: 10.1007/s10266-010-0139-y.

Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts DNJ, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K (2008): Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for detection of occlusal caries in vitro. In: Caries Res 42(2), S. 79-87, DOI: 10.1159/000113160.

Jordan RA, Krois J, Schiffner U, Micheelis W, Schwendicke F (2019): Trends in caries experience in the permanent dentition in Germany 1997-2014, and projection to 2030: Morbidity shifts in an aging society. In: Sci Rep 9, 5534, DOI: 10.1038/s41598-019-41207-z.

Keyes PH (1962): Recent advances in dental caries research. Bacteriological findings and biological implications. In: Int Dent J 12, S. 443-464.

Kingman A (1990): Statistical issues in risk models for caries; in Bader JD (ed): Risk assessment in dentistry. In: Chapel Hill, University of North Carolina Dental Ecology, S. 193-200.

König K, Flemming G, Hibst R (1998): Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. In: Cell mol Biol 44(8), S. 1293-1300.

König K (1971): Karies und Kariesprophylaxe. München: Wilhelm Goldmann Verlag GmbH.

Landis JR, Koch GG (1977): The measurement of observer agreement for categorical data. In: Biometrics 33(1), S. 159-174.

Levine RS (1977): The aetiology of dental caries – an outline of current thought. In: Int Dent J 27(4), S. 341-348.

Lussi A, Firestone A, Schoenberg V, Hotz P, Stich H (1995): In vivo diagnosis of fissure caries using a new electrical resistance monitor. In: Caries Res 29(2), S. 81-87, DOI: 10.1159/000262046.

Lussi A, Hibst R, Paulus R (2004): DIAGNOdent: An optical method for caries detection. In: J Dent Res 83 (Spec No C), S. C80-C83, DOI: 10.1177/154405910408301s16.

Lussi A, Hotz P, Stich H (1995): Die Fissurenkaries. Diagnostik und therapeutische Grundsätze. In: Schweiz Monatsschr Zahnmed 105(1165).

Lussi A, Schaffner M (2002): Diagnose und Therapie der Karies. In: Schweiz Med Forum 8.

Lussi A (1993): Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. In: Caries Res 27(5), S. 409-416, DOI: 10.1159/000261572.

Lussi A (1996): Impact of including or excluding cavitated lesions when evaluating methods for the diagnosis of occlusal caries. In: Caries Res 30(6), S. 389-393, DOI: 10.1159/000262349.

- Lussi A (1989): Methoden zur Diagnose und Verlaufsd Diagnose der Karies – Wann bohren? In: Schweiz Monatsschr Zahnmed 108(4).
- Lussi A (1991): Validity of Diagnostic and Treatment Decisions of Fissure Caries. In: Caries Res 25(4), S. 296-303, DOI: 10.1159/000261380.
- McComb D, Tam LE (2001): Diagnosis of occlusal caries part I. Conventional methods. In: J Can Dent Assoc, 67(8), S. 454-457.
- Menghini G, Steiner M, Marthaler T, Helfenstein U, Brodowski D, Imfeld C, Weber R, Imfeld T (2003): Kariesprävalenz von Schülern in 16 Zürcher Landgemeinden in den Jahren 1992 bis 2000. In: Schweiz Monatsschr Zahnmed 113, S. 267-277.
- Miller WD (1889): Die Mikroorganismen der Mundhöhle. Leipzig: Georg Thieme Verlag.
- Nagano T (1961): Relationship between the form of pit and fissure and the primary lesion of caries. Dent Abstr 6, S. 426. Zitiert in: König KG (1963): Dental morphology in relation to caries resistance with special reference to fissure as susceptible areas. In: J Dent Res 2, S. 461-476.
- Nyvad B, Fejerskov O (1997): Assessing the stage of caries lesion activity on the basis of clinical and microbiological examination. In: Community Dent Oral Epidemiol 25(1), S. 69-75, DOI: 10.1111/j.1600-0528.1997.tb00901.x.
- Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V (1999): Reliability of a new caries diagnostic system differentiating between active and inactive caries lesions. In: Caries Res 33(4), S. 252-260, DOI: 10.1159/000016526.
- Ozturk E, Sinanoglu A (2015): Histological validation of cone-beam computed tomography versus laser fluorescence and conventional diagnostic methods for occlusal caries detection. In: Photomed Laser Surg 33(2), S. 61-68, DOI: 10.1089/pho.2014.3831.

- Paris S, Ekstrand K, Meyer-Lückel M (2012): Karies – Wissenschaft und klinische Praxis. Stuttgart: Thieme Verlag.
- Pearce E, Larsen M, Coote G (1999): Fluoride in enamel lining pits and fissures of the occlusal groove-fossa system in human molar teeth. In: Caries Res 33(3), S. 196-205.
- Pitts NB, Ekstrand KR, The ICDAS Foundation (2013): International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) and its International Caries Classification and Management System (ICCMS) – methods for staging of the caries process and enabling dentists to manage caries. In: Community Dent Oral Epidemiol 41(1), S. e41-e52, DOI: 10.1111/cdoe.12025.
- Pitts NB, Fyffe HE (1988): The effect of varying diagnostic thresholds upon clinical caries data for a low prevalence group. In: J Dent Res 67(3), S. 592-596, DOI: 10.1177/00220345880670031401.
- Pitts NB, Stamm JW (2004): International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials (ICW-CCT) – final consensus statements: agreeing where the evidence leads. In: J Dent Res 83(Spec No C), S. C125-128, DOI: 10.1177/154405910408301s27.
- Pitts NB (2001): Clinical diagnosis of dental caries: a european perspective. In: J Dent Educ 65(10), S. 972-978.
- Pitts NB (2004): ICDAS – an international system for caries detection and assessment being developed to facilitate caries epidemiology, research and appropriate clinical management. In: Community Dent Health 21(3), S. 193-198. In Ismail AI, Sohn W, Tellez M, Amaya A, Sen A, Hasson H, Pitts NB (2007): The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries. In: Community Dent Oral Epidemiol 35(3), S. 170-178. DOI: 10.1111/j.1600-0528.2007.00347.x.

- Presoto C, Trevisan T, Andrade M, Dantas A, Campos J, Oliveira-Junior O (2017): Clinical effectiveness of fluorescence, digital images and ICDAS for detecting occlusal caries. In: Rev Odontol UNESP 46(2), S. 109-115.
- Ricketts DNJ, Ekstrand KR, Kidd EAM, Larsen T (2002): Relating visual and radiographic ranked scoring systems for occlusal caries detection to histological and microbiological evidence. In: Oper Dent 27(3), S. 231-237.
- Ricketts DNJ, Kidd EAM, Beighton D (1995): Operative and microbiological validation of visual, radiographic and electronic diagnosis of occlusal caries in non-cavitated teeth judged to be in need of operative care. In: Br Dent J 179, S. 214-220.
- Ricketts DNJ, Watson TF, Liepin PJ, Kidd EAM (1998): A comparison of two histological validating techniques for occlusal caries. In: J Dent 26(2), S. 89-96, DOI: 10.1016/s0300-5712(96)00081-4.
- Rodrigues JA, Diniz MB, Josgrilberg EB, Cordeiro RCL (2009): In vitro comparison of laser fluorescence performance with visual examination for detection of occlusal caries in permanent and primary molars. In: Lasers Med Sci 24(4), S. 501-506, DOI: 10.1007/s10103-008-0552-4.
- Schmelzer J (2000): Zahnmedizinische Prävention für Kinder und Jugendliche, Einschätzung der Effektivität von Individualprophylaxeprogrammen zur Verbesserung der Mundgesundheit, Dissertation, Universität Bielefeld.
- Sellos MC, Soviero VM (2011): Reliability of the Nyvad Criteria for caries assessment in primary teeth. In: Eur J Oral Sci 119(3), S. 225-231, DOI: 10.1111/j.1600-0722.2011.00827.x.
- Sharma P, Stenhouse L, Green D, Lavery D, Dietrich T (2017): Global epidemiology of dental caries and periodontitis – a comprehensive review. In: J Clin Periodontol 44(Suppl 18), S. S94-S105, DOI: 10.1111/jcpe.12677.

- Shoaib L, Deery C, Ricketts DNJ, Nugent ZJ (2009): Validity and reproducibility of ICDAS II in primary teeth. In: Caries Res 43(6), S. 442-448, DOI: 10.1159/000258551.
- Silverstone LM (1973): Structure of carious enamel, including the early lesion. In: Oral Sci Rev 3, S. 100-160.
- Sisodia N, Manjunath MK (2014): Impact of low level magnification on incipient occlusal caries diagnosis and treatment decision making. In: J Clin Diagn Res 8(8), ZC32-ZC35, DOI: 10.7860/JCDR/2014/8533.4742.
- Souza-Zaroni WC, Ciccone JC, Souza-Gabriel, AE, Ramos RP, Corona SAM, Palma-Dibb, RG (2006): Validity and reproducibility of different combinations of methods for occlusal caries detection: an in vitro comparison. In: Caries Res 40(3), S. 194-201, DOI: 10.1159/000092225.
- Splieth CH, Santamaria RM, Basner R, Schüler E, Schmoeckel J (2019): 40-year longitudinal caries development in german adolescents in the light of new caries measures. In: Caries Res 53(6), S. 609-616, DOI: 10.1159/000501263.
- Stachniss V, Schwarzbach H (2009): Hartschnitt/Schliffpräparate von Zähnen für Endodontie & digitale Makro-Repros. In: ZWR – Das Deutsche Zahnärzteblatt 118(10), S. 476-483, DOI: 10.1055/s-0029-1243104.
- Stachniss V (2005): Zur Hartschnitt-Technik nicht entkalkter Zähne und digitale makrofotografische Reproduktion histologischer Präparate. Projektbericht. Marburg.
- Steiner M, Menghini G, Curilovic Z, Marthaler T (1994): Kariesbefall der Schüler der Stadt Zürich im Zeitraum 1970–1993. In: Schweiz Monatsschr Zahnmed 104, S. 1210-1218.

Stodt T, Attin T (2004): Die Bissflügel-Röntgenaufnahme als Bestandteil der präventiven Zahnheilkunde – eine Übersicht. Schweiz Monatsschr Zahnmed 114, S. 882-889.

Stübel H (1911): Die Fluoreszenz tierischer Gewebe im ultra-violetten Licht. In: Pfluegers Arch Ges Physiol 142, S. 1-14. Zitiert in: Ifland S, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R (2004): Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF). In: ZWR 113, S. 254-248.

Van Hilsen Z, Jones RS (2013): Comparing potential early caries assessment methods for teledentistry. In: BMC Oral Health 13(16), S. 1-9, DOI: 10.1186/1472-6831-13-16.

Wenzel A, Larsen MJ, Fejerskov O (1991): Detection of occlusal caries without cavitation by visual inspection, film radiographs, xeroradiographs, and digitized radiographs. In: Caries Res. 25(5), S. 365-371, DOI: 10.1159/000261393.

WHO (1997): Oral Health Surveys Basic methods. WHO Geneva.

Yassin OM (1995): In vitro studies of the effect of a dental explorer on the formation of an artificial carious lesion. In: ASDC J Dent Child, 62(2), S.111-117.

Zöfel P (2002): Statistik verstehen. München: Addison-Wesley Verlag.

## 10 Materialliste

Material/Gerät	Hersteller
Sonicflex mit Schallspitze #60	KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland
PROPHYflex 2	KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland
PROPHYflex Natriumbicarbonatpulver	KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland
Bürstchen für grünes Winkelstück	Pluradent GmbH & Co KG, Offenbach, Deutschland
Zircate Prophy Paste	Dentsply Sirona Deutschland GmbH, Bensheim, Deutschland
SuperPolish	KerrHawe SA, Bioggio, Schweiz
Thymolkristalle	Merck KGaA, Darmstadt, Deutschland
Canon Eos 30D	Canon Deutschland GmbH, Krefeld, Deutschland
Canon MP-E 65mm f/2,8	Canon Deutschland GmbH, Krefeld, Deutschland



## **11 Verzeichnis akademischer Lehrer**

Meine akademischen Lehrerenden in Marburg waren die Damen und Herren:  
Arweiler, Bertoune, Braun, Cetin, Czubayko, Draenert, Feuser, Frankenberger,  
Gente, Gloerfeld, Höffken, Jablonski-Momeni, Kinscherf, Koolmann,  
Korbmacher, Kroh, Lamp, Lill, Lotzmann, Mengel, Milani, Mittag, Moll, Neff,  
Neumüller, Nonnenmacher, Pieper, Plant, Ramaswamy, Richter, Steiniger,  
Teymoortash, Weihe, Weber, Westermann, Wrocklage.

## **12 Danksagung**

Besonders herzlicher Dank gilt Frau Prof. Dr. Anahita Jablonski-Momeni für das interessante Dissertationsthema und die sehr geduldige, langjährige Betreuung. Die konstruktive Kritik war sehr hilfreich und meine Fragen wurden immer schnell beantwortet.

Darüber hinaus möchte ich Herrn Prof. Dr. Stachniss und Herrn Prof. Dr. Peter Bottenberg für die gute Zusammenarbeit danken.

Frau Dr. Monika Heinzel-Gutenbrunner danke ich für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Ein großer Dank auch an meine Eltern und Großeltern, die mir das Zahnmedizinstudium ermöglicht haben und immer an mich glauben.

Zuletzt ganz lieben Dank an Christian für das mehrmalige Korrekturlesen, Motivieren und das Drängen nicht aufzugeben.